

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI
TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET ENERGETIKA
INSTITUTY**

B.Altyýew

**ÝYLYLYK ELEKTRIK
STANSIÝALARYŇ
TURBINALARY**

2010 ý.

**Türkmenistanyň Prezidenti
Gurbanguly Berdimuhamedow:**

„Elektrik energiýasyny öndürmek, bu ugurda täze mümkinçilikleri açmak we işe girizmek – geljege gönükdirilen uzak möhletleýin döwlet ähmiýetli wezipedir. Ony ýerine ýetirmekde hem biz ep-esli üstünlikler gazandyk. Netijede öz halkymyzy elektrik energiýasy bilen mugt üpjün etmekden başga-da Türkmenistan elektrik energiýasyny daşary ýurtlara çykarmaklyga barha artýan mümkinçilikleri bolan ýurda öwrülýär“.

Sözbaşy

Türkmenistan energiýa çeşmelerine baýdyr, bu ýerde senagat okgunly ösýär, şonuň üçin kuwwatly energiýa pudagy – üstünlikli ösüşiň girewidir. Elektrik energiýasy adaty durmuşda we senagatda ymykly ornaşdy, ol kärhanalardaky stanoklaryň we mehanizmleriň, ýaşaýyş jaýlaryndaky köp mukdardaky elektrik abzallarynyň işini üpjün edýar.

Türkmenistanda elektroenergiýanyň ösüş taryhyna ser salsak ilkinji Hindiguş gidroelektrik stansiýasy Murgap derýasynyň boýunda baryp 1913-nji ýylda guruldy. Biziň günlerimizde hem işleýän bu stansiýa energetikanyň ajaýyp muzeýi boldy. Soňra elektrik energiýasyny işläp çykarýan kuwwatlyklar, dizel elektrik stansiýalary işe girizildi. 1945-nji ýylda Türkmenistanda ilkinji ýylylyk elektrik stansiýasy işläp başlady.

Soňky onýyllyklarda täze turbinalar işe girizildi, Aşgabat we Balkanabat elektrik stansiýalary öz işine başlady. 1969-njy ýylda Mary elektrik stansiýasynyň gurluşygy başlandy, 4 ýyldan soň onuň birinji energiýa blogy herekete getirildi. 1987-nji ýylda bu ýerde eýýäm 8 energiýa blogy işe girizildi, türkmen energetikasynyň önbaşçysynyň kuwwaty 1685 megawata ýetdi. 80-nji ýyllarda beýleki stansiýalarda hem täze energiýa bloklarynyň işe girizilmegi dowam etdirildi. Seýdi ýylylyk elektrik stansiýasy garaşsyzlyk döwrüniň ilkinji iri elektrik energiýasyny işläp çykarýan kärhanasy boldy, onuň iki blogy 1992 we 2004-nji ýyllarda işe girizildi.

Täze energiýa bloklary üçin enjamlar seçilip alnanda „Jenaral Elektrik“ kompaniýasynyň ýokary hilli enjamlaryny almaklyk makul bilindi. 1998-nji we 2003-nji ýyllarda gaz turbina desgalary Abadan döwlet elektrik stansiýasynda gurnaldy. 2003-nji ýylda Balkanabat döwlet elektrik stansiýasynda ýene-de üç turbina işe girizildi. Türkmenbaşynyň nebiti gaýtadan işleýän zawodlar toplumu üçin aýratyn elektrik stansiýasy guruldy. Paýtagtymyzda elektrik energiýasynyň sarp edilişiniň aýratynlygy bilen baglylykda 2006-njy ýylda işläp başlan Aşgabat döwlet elektrik stansiýasyny gurmaklyk karar edildi.

2007-nji ýylyň 7-nji dekabrynda Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň gatnaşmagynda Daşoguz gaz turbina elektrik stansiýasynyň açylmagy – pudak üçin wajyp pursatdyr. Hormatly Prezidentimiziň jemgyýetçilik durmuşynyň ähli ugurlarynda onuň özgertmeleri durmuşa geçirmek boşunça alyp barýan işleri ýurdumyzyň taryhynda täze sahypany açýar, ileri tutulýan pudaklaryň ösmegine ýardam edýär, olaryň arasynda elektroenergetika hem möhüm orun berilýär. Beýik Galkynyň döwründe pudagy kämilleşdirmek, täze elektrik stansiýalaryny gurmak we olary häzirki zaman enjamlary bilen üpjün etmek işleri barha artýan depginler bilen alnyp barylýar.

Bug turbina gurluşynyň ösüşi barada gysgaça maglumat.

Bug ýa-da gaz turbinaşy munuň özi buguň ýa-da gazyň potensial energiýasyny kinetik energiýa, sorira rotorlary aýlap mehaniki energiýa öwürýän dwigateldir. Bir başgançakly aktiw turbinalarynyň ilkinji görnüşü giňeldiji soplalarbilen 1883 ýylda şwed inzeneri Gustawo Lawel tarapyndan hödürlenildi. Şu turbinaşda buguň giňelmesi (çyzgy 1) bir başgançakda sopl şözeneklerinde başdaky basyşdan ahyrky basyşa çenli bolup geçýär. Şeýle bolanda sopl kanallarynda buguň tiziliginiň uly bolmagyna getirýär. Buguň kinetik energiýasyny peýdaly ulanmak üçin rotoryň aýlanma tizligi buguň soplalardan akýan absolýut tizligiň iki esse az bolmaly. Lawentiň turbinaşynyň aýlanma tizligi hem-de uly aýlanma ýylylygyna eýe bolupdyr, şonuň üçin onuň kuwwatlylygy 500 KWt-dan geçmändir we örän kiçi PTK-sy bolupdyr.

1884-nji ýylda iňlis inzeneri Çarlz Personz ilkinji köp başgançakly reaktiw turbinaşy hödürledi. Reaktiw turbinaşda buguň giňelmesi diňe sopl şözeneginde dälde we işçi (aýlanýan) şözeneklerde (rotorda) bolup geçýär.

Şeýlelikde Lawalyň turbinaşyndan üýtgeşik sopl şözeneklerinde çykýan buguň tizligi turbinalaryň islernek mümkinçiligi döredi.

XIX asyryň ahyrlarynda elektrik maşynlarynyň peýda bolmagy bilen elektroenergiýany ösdürmek üçin bug turbina gurluşygy çalt depginler bilen ösüp başlady. Orsýetde ilkinji bug turbinalary 1907-nji ýylda Peterburgyň Metal zawodynda goýberilip başlandy.

Bug turbina gurluşynyň ösmegine SSSR-de ýurdy elektrofikasiýalaşdyrmak bilen berk bagly. 1920-nji ýylda W.I.Leniniň insatiwasy bilen GOERLO plany işläp düzülýär, munda elektrik energiýany öndürmekligiň esasy paýyny elektrik generatorlaryny herekete getirýän bug turbinalary ýylylyk elektrik stansiýalaryna düşýär. SSSR-de ilkinji bug turbina 1924-nji ýylda LMZ öndürilýär.

Onuň başky parametrleri 1,1 MPa, 300°C, kuwwatlylygy 200 KWt. 1926-njy ýylda LMZ 10000 KWt turbina gurulýar, aýlanma ýygylygy 50 g. 1930-njy ýylda 24000 KWt aýlanma ýygylygy 50 g buguň başky parametrleri 2,55 MPa 375°C.

1931 -nji ýylda 50000 KWt 25 g buguň parametrleri 2,85 MPa 400°C.

1934-nji ýylda HTZ turbina öndürüp başlaýar. 50-100 MWt buguň parametri 2,85 MPa we 400°C, uruşdan öň gurlan TMZ (turbometrnyý zawod ş. Swerdlowskiý) buggy sazlap alynýan 12,25, 50,100,250MWtkuwwatly teplofikasion turbinalar öndürýär. Uruşdan soňky döwürlerde-de SSSR-iň zawodlary ulyparametrli 8,8 MPa 500°C kuwwatlylygy 25,50, 100MWt-ly turbinalar öndürüp başlaýarlar. 1952-nji ýylda LMZ 150MWT-ly turbina öndürýär,

başky buguň parametrleri 16,6 MPa 550°C aralykda bugy gyzdýryjysy bolan 500°C-a çenli şol wagtlarda iň uly Yewropada wally kuwwatly turbina.

1958-nji ýylda LMZ K200-130 tipli HTZ K-150-130 kuwwatlyklary 200 we 150 MWt buguň parametrleri 12,8 MPa 565°C.

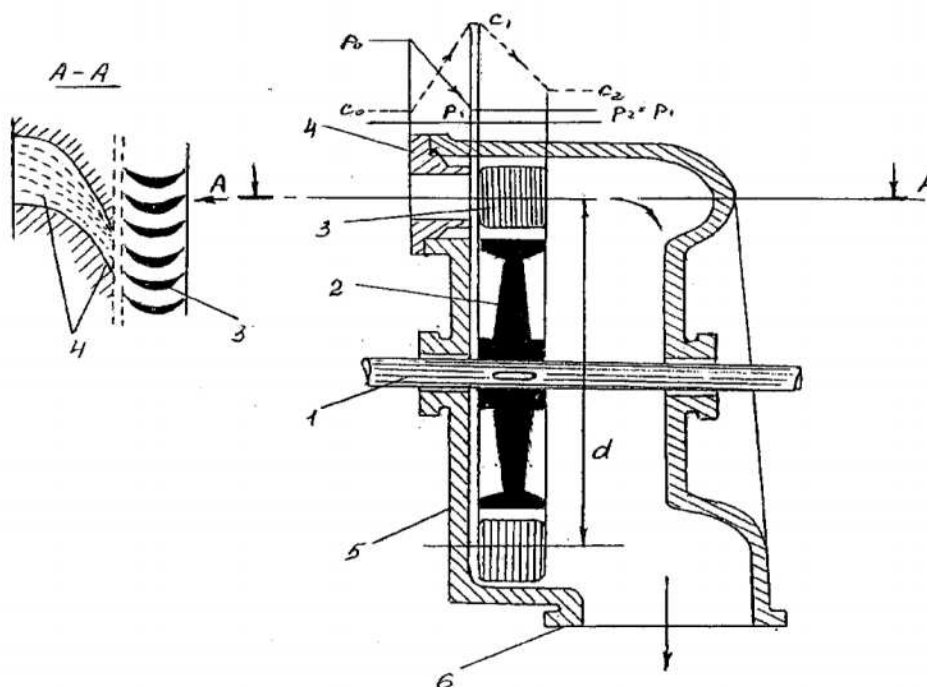
1960-njy ýylda LMZ we HTZ K-3 00-240 tipli turbina goýberilýär, 300 MWt kuwwatlylygy buguň başky ýokarky kritiki parametrleri bilen 23,5 MPa 560°C aralykda bug gyzdýryjysy bilen 565°C-a çenli.

1965-nji ýylda LMZ-de iki wally 800 MWt kuwwatly turbina goýberilýär. HTZ-de bolsa 500 MWt kuwwatly bir wally turbina goýberilýär, buguň parametrleri 23,5 MPa 540°C aralykda bug gyzdýryjysy 540°C-a çenli.

1969-njy ýyldan başlap LMZ bir wally K800-240 tipli turbinalar goýberýär.

1970-nji ýyldan TMZ T250-240 tipli teplofikasion turbinalary goýberýär. 250MWt kuwwatly buguň ýokary kritiki parametrleri 23,5 MPa 540°C çenli, dünýäde turbina gurluşygynda deňi taýy ýok.

1978-nji ýylda LMZ dünýäde iň uly K-1200-240 tipli 1200 MWt kuwwatly turbina taýýarlady, buguň başky parametrleri 23,5 MPa, 540°C aralykda 540°C-a çenli gyzdýryjy bilen ýokary basyşly gyzdýryjylary öndürlende kuwwatlylygy 1400 MWt ýetýär.

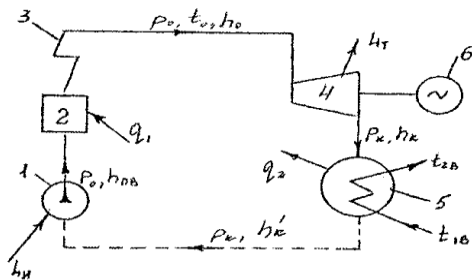


1-nji çyzgy. Bir basgançakly aktiw turbinanyň kesigi. 1-wal, 2-disk, 3-içkipilçeler, 4-sopla gözenekleri, 5-korpus, 6-çykalga patrübkaşy.

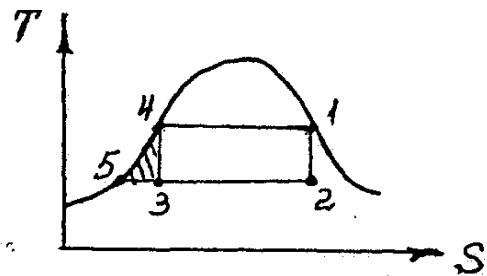
Turbinaly gurallaryň ýylylyk aýlawy.

Ýönekeý energetiki bugturbinaly gurallarynyň düzümi aşakdakylardan ybarat.

1. Iýmitlendiriji nasosdan. 2. Bug gazanyndan. 3. Bug gyzdyryjydan. 4. Bug turbinasyndan. 5,6. Kondensatordan we generatordan. Munda işçi madda bolup suw bugy bolup hyzmat edýär. Eger-de şu gurallar toplumy bug gyzdyryjysyz ulansak onda turbina çygly bug barar. Şu ýagdaýda Karno aýlawyny ýerine ýetirmek mümkinçiligi bar. Hakykatda hem bug gazanynda berilýän ýylylyk we işlän buguň kondensasiýa wagtynda alynýan ýylylyk çygly bug üçin izobariki we izotermiki prosesde bolup geçýär.



1-nji çyzgy. Ýylylyk energetiki gurallaryň prinsipi şemasy.



2-nji çyzgy. Çygly bug üçin Karno aýlawy T-S diagrammada.

Bu diagrammada 3-4 aşa çygly buguň doly kondensasiýasyna çenli kompressorda adiabatiki gysylyşy.

4-1 bug gazanynda suwuň bugarmasy.

1-2 turbinada buguň adiabatiki giňelmesi.

2-3 kondensatorda buguň bölekleyin kondensirlenmegi.

Şu aýlawde berilýän ýylylygyň q_1 we alynan q_2 hemişelik basyşda bolandygyny göz önünde tutup teoretiki bahalaryny tapýarys, q_1 teor q_2 teor

$$q_{1.theor} = h_1 - h_4$$

$$q_{2.theor} = h_2 - h_3$$

Şeýlelikde peýdaly teoretiki daşky iş aşakdaka deň:

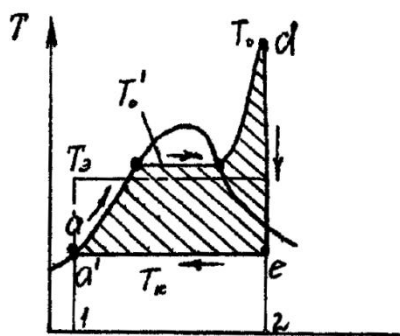
$$L = q_{1.theor} - q_{2.theor} = (h_1 - h_4) - (h_2 - h_3) = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)$$

Nirede $h_1 - h_2 = L_{giňelme}$ peýdaly teoretiki iş 1 kg buguň turbinada adiabatiki giňelen ýagdaýynda.

$h_4 - h_3 = h_{çyg}$ Sarp edilen teoretiki iş kg çygly buguň kompressorda gysylanda.

Çygly buguň suwa öwrülýänçä gysylmasyndaky iş suwy gysylandaky işden birnäçe esse köp. Meselem: çygly bugy 0,1 MPa basyşdan 3 MPa basyşa çenli kondensirlenýänçä adiabatiki gysylanda 455 KDz/kg iş sarp edilýär. Suwy 0,1 MPa basyşdan 3 MPa basyşa çenli adiabatiki gysylanda 2,65 KDz/kg iş sarp etmek gerek bolýar, 165 esse çygly buguňkydan pes.

Doly kondensirlenýän çygly buguň peýdaly taraplary barlygy üçin Karno aýlawy bug turbinaly gurallarda ulanylmaýar, oňa derek işleýän buguň doly kondensirlenýän aýlawy bolan Renkiniň aýlawy ulanylýar.



3-nji çyzgy. T-S diagrammasy gyzdyrylan bugda işleýän ýylylyk energetiki gurallaryň ideal aýlawy (Renkiniň aýlawy).

Şu diagrammada çyzyklar bilen görkezilen: a - iýmitlendiriji nasosda suwuň gysylmasynyň adiabatiki prosesi.

ab - suwuň gyzdyrylma prosesi bug gazanynda gaýnama derejesine çenli b.s - suwuň bugarma prosesi bug gazanda. cd - bug gyzdyryjyda bugy aş a gyzdymak. dc - turbinada buguň izoentropiki giňelmesi. ca - işlän buguň kondensasiýasy kondensatorda.

Bug gazanynda suwy gyzdymak, bugartmak, bugy aş a gyzdymak prosesi hemişelik basyşda bolup geçýär. Şeýlelikde 1 kg suwy we bugy gyzdymaga berilen q_1 ýylylyk durşuna olaryň entalpiýasyny ulaltmaga gidýär, iýmitlendiriji suwuňkydan h_{pb} täze buguň entalpiýasyna h_0 çenli hem-de ikisiniň tapawudyna deň: $q_1 = h_p - h_{pb}$.

Şu ýylylyk mukdary TS - diagrammada 1 abcde 21 meýdany bilen görkezilen turbinadan bug kondensatora barýar.

O1 ýerde hemişelik basyşda kondensirlenýär we sowadyjy suwa- q_2 ýylylyk berýär. Şu ýylylygy turbinada izotermiki prosesde iş ýerine ýetiren buguň entalpiýasy hem-de kondensatyň entalpiýasynyň ara tapawudy hökmünde hasaplap bolar.

$$q_2 = h_{kt} - h_k^l$$

1 kg buguň peýdaly teoretiki işi berlen hem alynan ýylylygyň tapawudyna deň.

$$L = q_1 - q_2 = (h_0 - h_{nB}) - (h_{kt} - h_k^l) = (h_0 - h_{kt}) - (h_{nB} - h_k^l) \quad (1)$$

$h_0 - h_{kt}$ - entalpiýalaryň tapawudy 1 kg buguň ideal turbinada eden işini görkezýär.

$h_{nB} - h_k^I$ - entalpiýalaryň tapawudy iýmitlendiriji nasosda 1 kg suwy gysmaga sarp edilýän işi görkezýär. 1 kg buguň peýdaly teoretiki işi, T-S diagrammada ştrihlenen meýdana ekwiwalentdir. Şol işiň berlen ýylylyga bolan gatnaşygyna ideal turbina guralyň absolýut ýa-da termiki PTK diýilýär.

$$\eta_t = \frac{L}{q_1} = \frac{(h_0 - h_{kt}) - (h_{nB} - h_k^I)}{h_0 - h_{nB}} \quad (2)$$

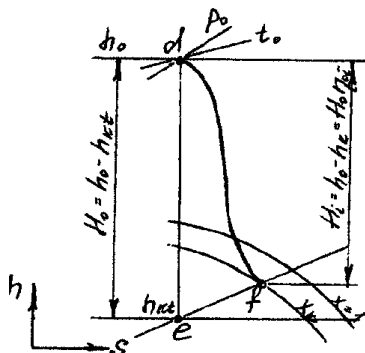
Şu aňlatmanyň maýdalawjysyna h_k^I umumylygyny aýryp hem goşup alýarys:

$$\eta_t = \frac{L}{q_1} = \frac{(h_0 - h_{kt}) - (h_{nB} - h_k^I)}{(h_0 - h_k^I) - (h_{nB} - h_k^I)}$$

Eger turbina guralynyň peýdalylygyna iýmitlendiriji nasossyz seretsek, onda ideal aýlawyň absolýut PTK aşakdaka deň bolar.

$$\eta_t = \frac{(h_0 - h_{kt})}{(h_0 - h_k^I)} = \frac{H_0}{h_0 - h_k} \quad (3)$$

$H_0 = h_0 - h_{kt}$ ululygyny turbinanyň doly ýylylyk tapawudy diýip atlandyrylýar. H_0 doly ýylylyk tapawudynyň ululygyny h-s diagrammanyň kömegi bilen aňsat tapyp bolýar.



4-nji çyzgy. Diagrammada buguň giňelme prosesi.

Başdaky h_0 entalpiýany tapmak üçin turbinanyň öňündäki parametrleriň $P_0 t_0$ kesişme nokadyny tapýarys. Şol nokatdan dikligine turbinada buguň izoentrop giňelmesine görä ahyrky basyşa çenli gysyp goýberýäris. Alnan kesimiň uzynlygy $H_0 = h_0 - h_k$.

1 kg buguň turbinada edýän işini doly ýylylyk üýtgemesini görkezýär. H_0 bahasyny hasaplamanyň üsti bilenem hasaplap bolýar. Eger-de giňelme prosesi aşagyzyň bug böleginde gutarýan bolsa, ideal gazyň deňlemesiniň üsti bilen hasaplap bolýar:

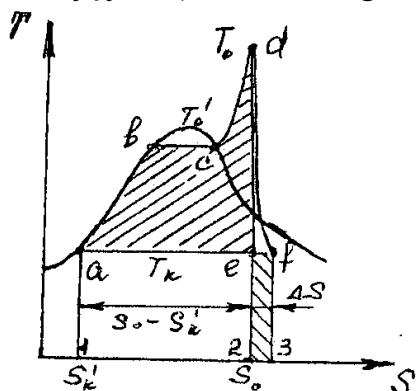
$$H_0 = \frac{k}{k-1} P_0 v_0 \left[1 - \left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right] \quad (4)$$

Nirede: $k=1,3$ aşa gyzgyn bug üçin izoentrop görkeziji.

P_0, P_k - buguň başdaky we ahyrky basyşy.

v_0 - buguň başdaky ideal göwrümi.

Hakykatda buguň turbinada giňelme prosesi birnäçe ýitgiler bilen bolup geçýär. Şonuň üçin buguň giňelme prosesiniň çyzygy entropiýanyň ulalma tarapyna süýşýär. (sur.4, sur.5 görüňär).



5-nji çyzygy. T - S diagrammada hakyky ýylylyk aýlawy.

Şeýlelikde üýtgemeyän basyşda işlän buguň entropiýasynyň ulalmagy onuň entalpiýasynyň ulalmagyna getirýär, başdaky we ahyrky entalpiýasynyň tapawudyny we turbinada lkg buguň edýän işini azaltýar.

$$L_T = h_0 - h_k = H_i$$

Turbinanyň içinde lkg buguň eden hakyky işine turbinanyň peýdalanylan H_i — ýylylyk üýtgemesi diýip atlandyrylýar. H_i - peýdalanylan ýylylyk üýtgemesiniň H_0 - doly ýylylyk üýtgemesine bolan gatnaşygyna turbinanyň oňnositel içki PTK-sy diýilýär.

$$\eta_{ot} = \frac{H_i}{H_0} \quad (5)$$

H_i - peýdalanylan ýylylyk üýtgemesiniň, bug gazanynda lkg işçi jisime berlen q_1 ýylylyga bolan gamaşygyna turbinanyň absolýut içki PTK-sy diýilýär.

$$\eta_i = \frac{H_i}{q_1} = \frac{H_i}{h_0 - h_k^I} = \frac{H_0 H_i}{(h_0 - h_k^I)} = \eta_t \eta_{oi} \quad (6)$$

Absolýut içki PTK-si başgaça görnüşde, ýagny turbinanyň içki kuwwatlylygynyň bug gazanynda işçi jisime berlen ýylylygyň Q sekunt çykdaýysyna bolan gatnaşygyna deňdir.

$$\eta_i = \frac{L_i \cdot G}{q_1 \cdot G} = \frac{N_i}{Q} \quad (7)$$

Turbinanyň walyna berilýän effektiw kuwwatlylyk N_e içki kuwwatlylykdan N_i turbinadaky mehaniki ýitgi ululygy ýaly kiçi $N_e = N_i - N_m$;

Effektiv kuwwatlylygyň içki kuwwatlylygyna bolan gatnaşygyna turbinanyň mehaniki PTK-sy diýilýär.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_0} \quad (8)$$

Ideal turbinanyň teoretiki kuwwatlylygy peýdalanylan ýylylyk üýtgemesi doly ýylylyk üýtgemesine deň we aşakdaky deňleme bilen hasaplanylýar;

$$N_0 = G \cdot H_0 ; \quad (9)$$

Effektiv kuwwatlylygyň teoretiki kuwwatlylyga bolan gatnaşygyna turbinanyň η_{oe} otnositel effektiv PTK-sy diýilýär.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_0} = \frac{N_i \cdot N_e}{N_0 \cdot N_i} = \eta_{oi} \eta_m \quad (10)$$

Turbinanyň effektiv kuwwatlylygynyň bug gazanyňa sarp edilen ýylylyk çykdaşygyna bolan gatnaşygyna turbinanyň absolýut effektiv PTK-sy diýilýär.

$$\eta_e \frac{N_e}{Q} = \frac{N_i \cdot N_e}{Q \cdot N_e} = \eta_i \eta_m = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m = \eta_t \eta_{oe} \quad (11)$$

Elektrik generatoryň kuwwatlylygynyň N_e effektiv kuwwatlylygyna N_e bolan gatnaşygyna elektrik generatoryň kuwwatlylygy diýilýär.

$$\eta_{eg} = \frac{N_e}{N_e} \quad (12)$$

Elektrik generatoryň kuwwatlylygynyň ideal turbinanyň teoretiki kuwwatlylygyna bolan gatnaşygyna turboagregatyň otnositel elektrik PTK-sy diýilýär.

$$\eta_{oe} = \frac{N_e}{N_0} = \frac{N_e N_0}{N_e N_e} = \eta_{oe} \cdot \eta_{eg} = \eta_{oi} \eta_m \eta_{eg} \quad (13)$$

Absolýut (termiki) PTK otnositel elektrik PTK-a köpeltmek hasylyna turboagregatyň absolýut elektrik PTK-sy diýilýär.

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{oe} = \eta_t \eta_{oi} \eta_m \eta_{eg} \quad (14)$$

14-nji deňlemeden görnüşi ýaly turboagregatyň peýdalylygyny ýokarlandyrmagyň iki ýoly bar. Birinji ýoly aýlawyň termiki berlen we alnan ýylylygyň PTK-sy temperaturalaryň ara tapawudyny ýokarlandyrmak bilen, ikinji ýoly turbinanyň we generatoryň konstruksiýasyny kämilleşdirmek bilen, esasanam ýitgileri kiçeltmek bilen.

Turbinanyň içki kuwwatlylygy D_j 's aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$N_i = G \cdot H_i \quad (15)$$

lkwt·sag elektrik energiýa öndürmek üçin buguň udel çykdaşysy aşakdaka deň

$$d_e = 3600 G / H_0 \eta_{oe} \quad (16)$$

Kondensasion turbinanyň peýdalylygy lkwt•sag elektrik energiýa öndürmek üçin berlen udel ýylylygynyň mukdary bilen kesgitlenilýär.

$$Q_e d_e (h_0 - h_k^I) = 3600 / \eta_e \quad (17)$$

Turboagregatyň PTK-sy we kuwwatlylygy.

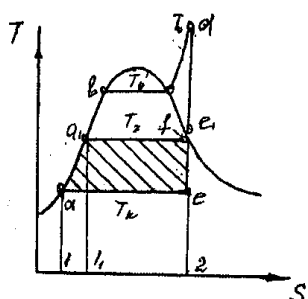
PTK	Otnositel PTK	Turbina guralynyft absolýut PTK-sy	Kuwwatlylyk
Ideal turbinalar	-	$\eta_t = H_0 / (h_0 - h_k^I)$	$N_o = G \cdot H_0$
Içki	$\eta_t = H_i / H_o$	$\eta_i = \eta_t \eta_{io}$	$N_i = G \cdot H_i = N_o \cdot \eta_{oi}$
Effektiw	$\eta_{oes} = \eta_{oi} \eta_m$	$\eta_e = \eta_t \eta_{oes}$	$N_e = G \cdot H_i \cdot \eta_{oi} = N_o \cdot \eta_{oes}$
Elektrik	$\eta_{oes} = \eta_{oi} \eta_m \eta_{eg}$	$\eta_e = \eta_t \eta_{oes}$	$N = G \cdot H_i \cdot \eta_{eg} = N_o \cdot \eta_{oes}$

Ýylylygy we elektrik energiýasyny kombinirlenen görnüşde öndürilişi.

Kondensasion bug turbinalarynda öz işini ýerine ýetiren bug, bugartmak üçin alan ýylylygyny kondensatorda sowadyjy suwa berýär. Bu ýylylyk bug gazanynda berlen ýylylygynyň 60-65% peýdasyz ýitirilýär, sowadyjy suwuň temperaturasyny kondensatordan soňra bary-ýogy 10-15°C gyzdyrýar.

Bir gapdaldan tehnologiiki prosesler üçin ýa-da jaýlary ýyladyş üçin uly bolmadyk temperaturaly ýylylyk (100-150 °C) gerek bolýar. Şu ýylylygynyň gözbaşy bolup turbinada öz işini ýerine ýetiren bug, sarp ediji üçin gerek basyşyna çenli giňeldilen soňra hyzmat edip biler. Şu ýagdaýda işlän buguň kondensasiýa ýylylygy tehnologiiki apparatlarda suwy gyzdyrmak ýa-da materiallary sowatmak üçin ulanylyp bilner, kondensaty bolsa ýene-de aýlawe gaýdyp gelýär.

Şeýlelik-de, bir wagtda elektrik we ýylylyk energiýany öndürmeklik aýratyn bug gurallarynda bolsa arzan düşýär. Şu ýagdaýy, kondensasion we garşylyklaýyn basyşly ideal ýylylyk aýlawlaryny T,S diagrammada görmek bolýar.



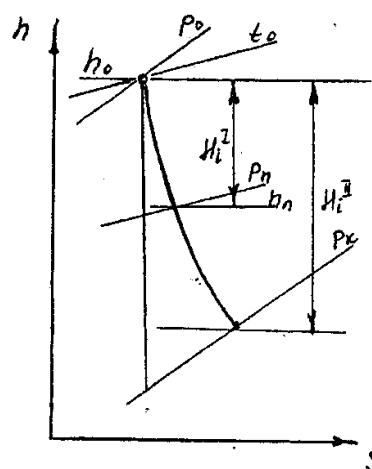
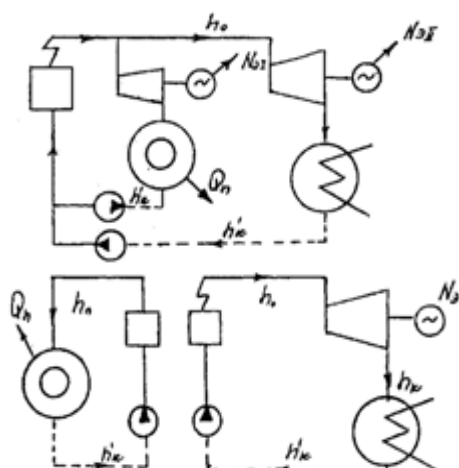
1-nji çyzgy. Kondensasion we garşylykly basyşly turbinalaryň ideal ýylylyk aýlawlaryň T, S -diagrammada deňeşdirilişi.

Kondensasion turbinada işlän buguň ýylylygy lae21 meýdanyna ekwiwalentdir we sowadyjy suw bilen hemme ýylylyk ýitýär. Uly basyşly turbinalarda (garşylykly basyşly) işlän bug elektrik energiýasy bilen bir hatarda ýylylyk sarp edijileri işlän buguň (hemmesi bilen) ýylylygy bilen üpjün edýär we aýlawde 1,, a,, e,, 21, meýdanyna deň.

YES-lerde elektrik energiýany we ýylylygy kombinirlenen görnüşde öndürilmegine we ýyladyş sistemalarynda, tehnologiýa sarp edijilerde işlän bugy alyp merkezleşdirilen ýylylyk üpjünçiligi bazasynda ulanylamgyna teplofikasiýa diýilýär.

Teplofikasiýa ÝES-lerde ýangyjyň udel çykdajysyny azaltmagyň esasy metodlary bolup durýär. Şonuň üçin häzirki wagtda elektroenergiýanyň 30-35% ÝEM-lerde öndürilýär, ýagny ýylylygy we elektrik energiýany kombinirlenen görnüşde öndürilýän ýerinde. Elektrik energiýa islegini doly kanagatlandyrmak üçin teplofikasion turbinalardan başga kondensasion turbinalary hem zerurdyr.

Kombinirlenen görnüşde energiýany öndürmekde ýylylygyň utan ýeri aýratynlykda öndürilenden aşakdaky ýaly kesgitlenýär. Goý V_e elektrik kuwwatlylygy bilen we Q_p ýylylyk bilen üpjün etmek gerek bolsun. Buguň (sur. 2) giňelmesi kondensasion we garşylykly basyşly turbinada bolup geçýär diýip hasaplalyň, T, S -diagrammada umumy egri çyzygy görkezilýär, iýmitlendiriji



suwuň entalpiýasy bolsa iki guralda-da bir h_k^I - deň.

2-nji çyzgy. Elektroenergiýany we ýylylygy kombinirlenen (a) we aýratyn (b) gurallarda öndürilişiniň prinsipial shemasy.

3-nji çyzgy. H-S diagrammada garşylyklaýyn basyşly we kondensasion garşylyklaýyn basyşly we kondensasion

Peydalanylan ýylylyk üýtgemesi - garşylyklaýyn basyşly turbinada

$H_i^I = h_o - h_n$, kondensasion turbinada $H_i^I = h_o - h_k$ böleginiň ýönekeýleşdirmek üçin hasaplama N_i - içki kuwwatlylygy goşalyň.

$$N_i = N_e / \eta_m \eta_{eg}$$

Kondensasion turbinada elektrik energiýasyny öndürmek üçin buguň mukdary:

$$G^{II} = N_i / H_i^{II}$$

Şeýlelikde, elektrik energiýany we ýylylygy aýratynlykda öndürende ýylylyk mukdary aşakdaka deň;

$$Q_{razd} = G(h_o - h_k^I) + Q_n = \frac{N_i}{H_i^{II}(h_o - h_k^I)} + Q_p = \frac{N_i}{\eta_i} + Q_p \quad (1)$$

Kombinirlenengönrüşde energiýa öndürilende sarp edijini Q_n ýylylyk bilen üpjün etmek üçin, garşylykly basyşly turbinanyň üstünden berilýän buguň mukdary aşakdaka deň:

$$G^I = Q_n / h_p - h_k$$

Şeýlelikde bu turbinanyň kuwwatlylygy: $N_i^* = G(h_o - h_p) = Q_n^*$

$h_o - h_p = h_p - h_k$ Ýetmeýän kuwwatlylygyň paýy kondensasion turbinada öndürilmeli:

$$N_i^{II} = N_i - N_i^I$$

Munuň üçin goşmaça buguň çykdajysy gerek bolýar.

$$G^{II} = N_i^{II} / h_o - h_k = N_i / h_o - h_k - Q_n^* (h_o - h_p) / (h_p - h_k) (h_p - h_k^I)$$

Şeýlelikde kombinirlenen görnüşde energiýa öndürilende umumy buguň mukdary $G = G^I + G^{II}$; ýylylygyň mukdary bolsa aşakdaka deň.

$$\begin{aligned} Q_{kmb} &= (G^I + G^{II})(h_p - h_k) = Q_n^* (h_o - h_k) / h_p - h_k + N_i^* (h_o - h_k^I) / h_p - h_k - \\ &- Q_n^* (h_o - h_p) / (h_p - h_k^I) / (h_o - h_k) * (h_p - h_k^I) = N_i / \eta_i - Q_n^* (h_o - h_p) / \eta_i (h_p - h_k) + \\ &+ Q_n^* (h_o - h_p / h_p - h_k + 1); \end{aligned} \quad (2)$$

garşylykly basyşly turbinada işe öwrülen ýylylygyň $(h_o - h_p)$.

$(h_p - h_k^I)$. -sarp edijide berlen ýylylyga bolan gatnaşygyny χ bilen belgiläliň.

$$\chi = h_0 - h_p / h_p - h_k^I = H_0^I / h_0 - H_i - h_k^I; \quad (3)$$

Şu belgini göz önüne tutup kombinirlenen görnüşde öndürilen energiýa doly ýylylygyň berilmegi aşakdaka deň:

$$Q_{komb} = N / \eta_i - Q_{\pi} * \chi / \eta_i + Q_{\pi} * (\chi + 1) = N_i / \eta_i + Q_{\pi} * [1 - \chi(N / \eta_i - 1)]$$

Kombinirlenen görnüşde energiýa öndürilmeginde ýetilen ýylylyk peýdalylygy, aýratynlykdaky bilen deňşdireniňde, aşakdaka deň bolýar.

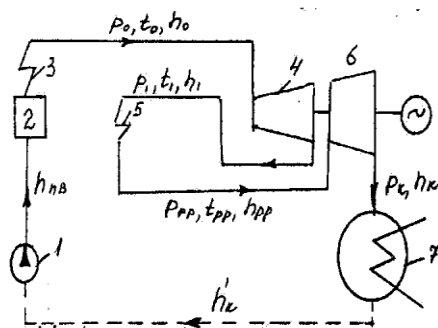
$$\Delta Q = Q_{razd} - Q_{komb} = N_i / \eta_i + Q_{\pi} - N_i / \eta_i + Q_{\pi} [1 - \chi(N / \eta_i - 1)] = Q_{\pi} \chi (\eta_i - 1); \quad (4)$$

Bu ýylylyk peýdalylygyň otnositel bahasy ýylylyk sarp ediji üçin berilen ýylylyk mukdarynyň ülşi hökmünde görkezilen:

$$\xi = \Delta Q / Q_p = \chi (1 / \eta_i - 1)$$

Şeýlelikde, ýylylyk sarp edilende elektrik energiýasy köp öndürilse we kondensasion guralyň absolýut PTK-sy kiçi bolsa, şonçada kombinirlenen energiýa öndürmekde ýylylyk peýdalylygy (tygşytlylygy) ýokary. 2(a) çyzgyda görkezilen kombinirlenen görnüşde ýylylygy we elektroenergiýany öndürişinde görkezilen ulanylan kondensasion we garşylyklaýyn basyşly turbinalar örän az düş gelýär. Muňa derek teplofikasiýa we tehnologiýa sarp ediji üçin bugy sazlanyp alynýan kondensasion turbinalar ulanylýar.

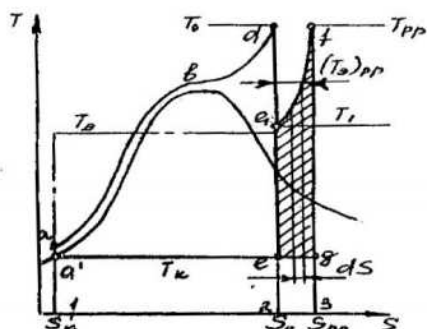
Bugyň aralykda aşa gyzdyrylyşy.



1-nji çyzgy. Aralykda aşa bug gyzdyryjyly ýylylyk energetiki gurallarynyň shemasy. 1-iýmitlendirijinasos, 2-bug gazany 3-bug gyzdyryjy 4-turbinanyň uly basyşly bölegi, 5-aralykbug gyzdyryjy 6-turbinanyň kiçi basyşly bölegi, 7-kondensator.

Aralykda aşa gyzdyryjyly ýylylyk energetiki gurallarda bug turbinaýnyň SWD (UBS) giňelenden soňra bug gazanyna ikinji sapar gyzmaga ugradylýar, ol

ýerde buguň temperaturasy t_4 -dan t_p çenli ulalýar. Bug aralykdaky gyzdyryjydan soňra turbinanyň kiçi basyşly bölegine gönükdirilýär we kondensatordaky basyşa çenli P_k giňelýär.



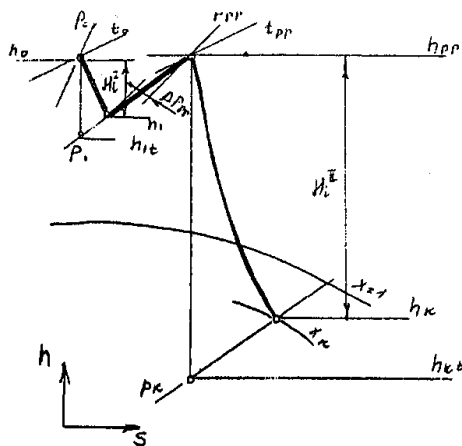
2-nji çyzgy. T-S diagrammada. Aralykda aşa bug gyzdyryjyly ideal ýylylyk aýlawi.

T-S diagrammada aralykda aşa bug gyzdyryjyly we başdaky uly kritiki basyşly aýlawy, iki aýlawyň goşulmasy hökmünde (birinjisi $1a^1$ abde21 esasy, aýlaw ikinjisi $2ee,fg32$ goşmaça aýlaw) seredip bolar. Eger-de goşmaça aýlawyň ekwiwalent temperatrasyndan T_e uly bolsa, onda goşmaça aýlawyň peýdalylygy esasy aýlawdan uly bolar hem-de umumy aýlawyň PTK-sy ulalýar, şonuň bilen turbinanyň soňky basgançaklarynda buguň çyglylygynyň kiçelmegi bilen soňky basgançaklaryň otnositel içki PTK-sy ulalýar, şeýlelikde turbinanyň hemme PTK-sy ulalýar. Ondan başga-da aralykda aşa gyzdyryjyny ulanmaklyk üýtgemeýän başdaky temperaturada başdaky basyşy ulaltmaklyga mümkinçilik döretýär hem-de ahyrky çyglylygy üpjün edýär. Aralykda aşa gyzdyryjyly aýlawda lkg buguň doly (teoretiki) işi doly ýylylyk tapawutlarynyň jemine deň:

$$L_{gt}^{pp} = H_{pp}^{pp} = (h_0 - h_{1t}) + (h_{pp} - h_{kt});$$

h_0 - başdaky buguň entalpiýasy.

$h_p - h_{kt}$ SWD (UBS)-de we (SND) izoentrop giňelmeden soňra buguň entalpiýasy.



3-nji çyzgy. H-S diagrammada aşa bug gyzdyryjyly turbinalarda buguň giňelme prosesi.

Bug gazanynda we aralykdaky bug gyzdyryjyda lkg bug üçin sarp edilen ýylylyk mukdary: $q_{pp}^{pp} = (h_0 - h_k^1) + (h_{pp} - h_{1t});$

k^I -kondensasion entalpiýasy.

Ideal aýlawyň absoýlut PTK-sy.

$$\eta^{pp}_t = L^{pp}_u / q^{pp}_1 = \frac{(h_0 - h_{1t}^I) + (h_{nn} - h_{kt})}{(h_0 - h_k^I) + (h_{nn} - h_{1t})}$$

Eger-de izoentrop giňelme prosesi çygly bug böleginde tamamlansa, onda PTK-sy

$$\eta^{pp}_t = 1 - \frac{T_k (S_{pp} - S_k^I)}{(h_0 - h_k^I) + (h_{pp} - h_{1t})}$$

Içki absolýut PTK.

$$\eta^{pp}_t = \frac{(h_0 - h_{1t})\eta^{I}_{oi} + (h_{pp} - h_{kt})\eta^{II}_{oi}}{(h_0 - h_k^I) + (h_{pp} - h_{1t})}$$

Otnositel içki PTK turbinanyň uly we kiçi basyşly bölegi. Basyş ýitgisi ΔP_{pp} , aralykdaky gyzdryjy trkatda (turbinadan bug gazanyňa çenli bug äkidijide, bug gazanynda turbina çenli bug äkidijide) PTK kiçelmegine getirýär, şonuň üçin absolýut basyşdan 10% artyk goýberilmeyär.

$$P_1 = P_0 * (0,2 \div 0,3)$$

Aralykdaky gyzdryjyda soňra buguň temperaturasy başdaky buguň temperaturasyňa deň ýa-da golaý $t_{pp} = t_o \pm (10 \div 90) ^\circ S$ alynýar. Aralykda gyzdryjyly ideal ýylylyk aýlawiň peýdalylygy aralykdaky gyzdryja alynýan buguň optimal temperatuasy T_1^{opt} , ilki bilen ekwiwalent temperaturasy $T_e = T_k / (1 - \eta_t)$ soňra PTK deň bolanda şeýlelikde:

$$T_1^{opt} = T_k / (1 - \eta_t^{pp});$$

Köplenç $T_1^{opt} = (1,02 \div 1,04) T_e$, Aralykdaky gyzdryjynyň önündäki basyşy alynýar.

Iýmitlendiriji suwuň regeneratiw gyzdrylşy.

Kondensatorda sowadyjy suw bilen gidýän ýylylyk ýitgisi, turbinadan kondensatora baran işlän buguň mukdaryna deň. Kondensatora barýan buguň mukdaryny 30-40% azaldyp bolýar, birnäçe basgançaklardan işini ýerine ýetiren bugy akyp iýmitlendiriji suwy gyzdirmek ýoly bilen. İşlän bug kondensatynyň temperaturasy kondensatordaky basyşa görä doýma temperaturasy na bagly

Kondensatordaky basyş :kPa	2,95	3,43	3,92	4,42	4,90
Doýma temperaturasy : $^{\circ}C$	23,8	26,4	28,6	30,7	32,6

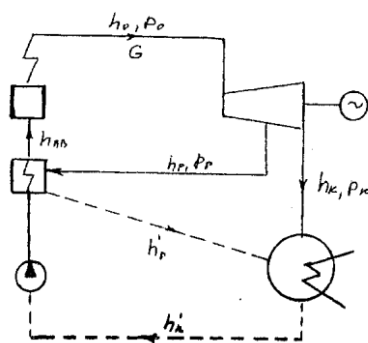
Bug gazanynda suwuň bugarma temperaturasy basyşa görä doýma temperaturasyna deň. Bug gazanynda suwuň bugarma temperaturasy bilen kondensatorda kondensasiýa temperaturasynyň arasyndaky ara tapawut uly bolan ýagdaýynda. Iýmitlendiriji suwy turbinanyň aralykdaky basgançaklarynda alynýan buguň ýylylygy bilen gyzdryp bolýar. Şeýle gyzdrylma iýmitlendiriji suwuň regenerativ gyzdrylmasy diýilýär.

Regenerativ aýlawy ýönekeý aýlaw bilen deňeşdirlende berilýän we alynýan ýylylygyň ortaça temperaturasy örän uly, şonuň üçinem örän uly termiki PTK-sy bar.

Peýdalylygy ýokarlandyrmak, regenerativ aýlawda iýmitlendiriji suwa berilýän ýylylygy (kombinirlenen aýlawdaky ýaly) öndürilýän ýylylyk kuwwatlylygyna proporsionaldyr. Bu ýylylyk mukdary iýmitlendiriji suw bilen kondensatyň temperatura ahyryna bagly, regenerasiýa üçin bug alynýan ýerleriniň sanyna bagly däl. Turbinanyň elektrik kuwwatlylygy, şol bir iýmitlendiriji suwy gyzdirmek üçin öndürilýän ýylylyga we täze buguň mukdaryna regenerasiýa üçin saýlanyp alynýan bug ýerleriniň sanyna we regenerativ gyzdryjylarda ýaýramagyna bagly.

Iýmitlendiriji suwyň şol bir temperaturasynda maksimal kuwwatlylyga birnäçe saýlanyp alynýan bug ýerine degişli minimal kuwwatlylygy bolsa bir saýlanyp alynýan bug ýeri.

Bir basgançakly regenerativ gyzdrylanda, başdaky bugyň ýa-da ahyrky bugyň basyşa golaý bug alynanda az peýdaly, aralykdaky basyşlardan bug alnanda köp peýdaly bolýar.



1-nji çyzgy. Turbina gurallarynda iýmitlendiriji suwy bir basgançakda regenerativ gyzdrylyşynyň prinsipial shemasy.

Iýmitlendiriji suw nasos bilen turbina sistemasynyň gyzdryjysynyň üstüne iteklenýär we turbinadan alynýan bug bilen daşyndan gyzdrylýar.

Şeýlelikde iýmitlendiriji suwyň temperaturasy gyzdyrýan bugyň doýma temperaturasyndan kiçi bolýar. Şu temperaturalaryň tapawudyna doly gyzmadyk suw diýilýär we $1,5^{\circ}\text{C}$ -dan 6°C -a çenli bolýar.

Üstli gyzdyryjylardan başga alynýan bug bilen gyzdyrlanda garyşdyryjy hem ulanylýar onda gyzdyryjy bug iýmitlendiriji suw bilen garyşýar we gyzmadyk suw bolmaýar (bugyň gyzgyny doly suwa geçýär).

1-nji çyzgyda kondensasion turbina guralynyň bir regeneratiw üst tipli shemasy görkezilen.

Bu ýerde iýmitlendiriji suw gyzdyryjynyň üstünden iteklenilende gyzýar we entalpiýasy h_k -dan h_{pw} çenli ulalýar. Turbinadan alnan bugyň iýmitlendiriji suwy gyzdyrlanda entalpiýasy h çenli kiçelýär. Gyzyryjy bugyň kondensatynyň h entalpiýasy kondensatora berilýär. Gyzyryjyda iýmitlendiriji suwyň gyzmadyk bölegi:

$$h'_n - h_{nh} = \delta h$$

Alynýan bugyň mukdaryny turbina berilýän täze buga görä üleşini a bilen belläp, gyzyryjynyň ýylylyk balans deňlemesini düzýäris.

$$\alpha(h_n - h'_n) = h_{nh} - h'_k = h'_n - \delta h - h'_k$$

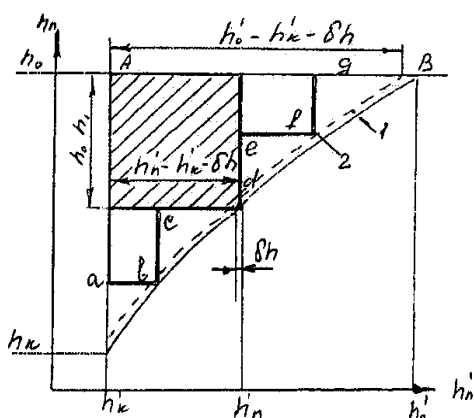
Bu ýerden alnan bugyň üleşini tapýarys.

$$\alpha = \frac{h'_n - \delta h - h'_k}{h_n - h'_n} \quad (1)$$

Şu bug bilen öndürilen kuwwatlylyk aşakdaka deň.

$$L_\alpha = \alpha(h_0 - h_n) = \frac{(h'_n - h'_k - \delta h)(h_0 - h_n)}{h_n - h'} \quad (2)$$

Eger-de ordinata boýunça alynýan bugyň entalpiýasyny h_p , absissa oky boýunça onuň kondensatynyň entalpiýasyny h_p^I goýsak onda iki ululygyň arasyndaky baglanşygy almak mümkin (çyzgy 2).



2-nji çyzgy. Alynýan bugyň entalpiýasynyň, onuň kondensatynyň entalpiýasyna baglylygy.

Iýmitlendiriji suwuň doly gyzmadyk bölegini göz önünde tutup, we onuň ululygyna garyşdyryp 1-nji çyzgymyzy ekwiwalent çepe süýşüp 2-nji çyzgy ýagny gyzydryjy bugyň entalpiýasy bilen iýmitlendiriji suwyň entalpiýasynyň arasyndaky baglanşyk alynýar.

Alynýan bugyň we onuň kondensatyň entalpiýasy alynýan bugyň basyşyna bagly däl (2-deňlemäniň maýdalawjysynda) alynýan bug bilen öndürilen kuwwatlylyk ştrihlenen dörtburçlugyň meýdanyna proporsionaldyr. ($h'-h'-h$ we h_0-h_p gapdally) (çyzgy 2).

Şu dörtburçlygyň meýdany F we kuwwatlylygy haçanda alynýan bugyň entalpiýasy h_p , täze bugyň entalpiýasyna h_0 ýa-da işlän bugyň entalpiýasyna h_k deň bolsa, nula deň bolar. Seredýän ýagdaýmyzda maksimal kuwwatlylyga bir basgançakda iýmitlendiriji suwy gyzydryamyzda täze we işlän bugyň ortaça bahalaryny alanymyzda ýetip bolar, ýagny aralykda alynýan bugyň entalpiýasynda. Iýmitlendiriji suwy gyzydrymaklygyň bir basgançaklysyna derek üç basgançakly regeneratiw gyzydryjy ulansak ýylylyk sarp edilende öndürilýän kuwwatlylyk ulalýar we AbsdefgA meýdany naproporsionaldyr.

Eger-de regeneratiw alynmany tükeniksizlige çenli ulaltsak ýylylyk sarp etmede kuwwatlylygyň öndürilmegi maksimal bahasyna ýeterdi we ASBA meýdanyna ekwiwalent bolardy.

Praktikada ykdysady tehniki hasaplamalardan soňra regeneratiw gyzydryma alynýan bug ýeriniň sany çäklendirilýär, köplenç 9-dan geçmeýär. Şol bug alynmanyň nokatlary olaryň ýylylyk tapawutlary takmynan deň bolar ýaly hasaplamadan alynýar we iýmitlendiriji suwyň gyzydryjyda entalpiýasy deň ulalar ýaly alynýar. 2-nji çyzgydan görnüşi ýaly bug alynma nokatlary saýlanyp alynanda ýylylyk öndürlendäki kuwwatlylyk we regenerasiýanyň ykdysady peýdalylygy maksimal bolýar. Iýmitlendiriji suwyň temperaturasyny regeneratiw gyzydrymada täze bugyň basyşyndaky doýma temperaturasyna golaý ulaltmak mümkin. Yöne bu gazandan tüsse bilen gidýän ýylylyk ýitgisi ulalardy.

Şonuň üçin halkara normalarynda (bug turbinalarynyň) iýmitlendiriji suwyň temperaturalary bug gazanyndaky basyşa görä doýma temperaturasynyň 0,65-0,75 bölegine deň almaklygy maslahat berilýär. Bugyň ýokarky kritiki parametrlinde we başdaky basyşy $P_0=23,5\text{Mpa}$ deň bolanda iýmitlendiriji suwyň temperaturasy 265-275°C deň.

Gyzderyjylaryň çäklendirilen sanynda z we ykdysady tarapdan utýan ýerini, alynýan bugyň basyşy dogry alnanda aşakdaky formula bilen baha berip bolar.

$$\xi_{pz} = \xi_p^\infty 1 - \left[\frac{h_z - h_k}{z(2h_0 - h_k - h_{pw})} \right]^j$$

h_z -ýokary regeneratiw alynma bugyň entalpiýasy.

j -regeneratiw shemanyň kämilleşme derejesini göz önünde tutýan koeffisiýent.

Regenerasiýa birinji basgançaklaryň otnositel içki PTK-syna täsir edýär. Turbinanyň soňky basgançaklarynda regenerasiýa netijesinde bugyň göwrümini azaltýar, hem-de çykýan tizlik bilen ýitýän ýitgini kiçeltýär.

Bug gazanynda täze bug basyşy MPa

3,14	9,8	13,75	16,7
------	-----	-------	------

Doýma temperaturasy

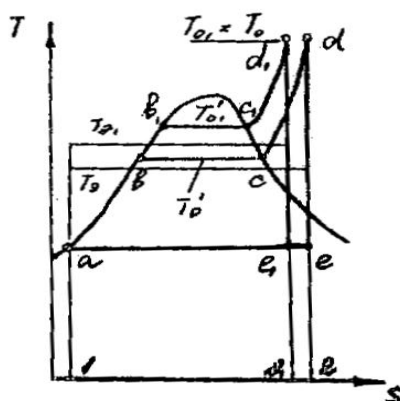
236,4	309,5	335,1	350,7
-------	-------	-------	-------

Bugyň parametrleriniň ideal aýlawyň PTK-syna täsiri

Termiki PTK-nyň bugyň parametrlerine baglylygynyň häsiýetlerini aýlawyň dürli nokatlarynda T-S diagrammada aňsat görmek bolýar.

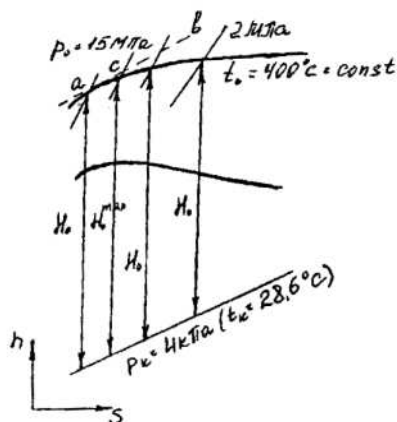
Täze bug basyşynyň täsiri.

Eger-de täze bugyň we işlän bugyň temperaturalarynyň üýtgemeyän ýagdaýynda basyşdaky basyşy P_0 galdyrsak onuň doýma temperaturasy hem galýar hem-de ekwiwalent temperaturasy T_e -de T_{el} galýar (çyzgy 1.). Basyşyň ulalmagy aýlawyň absolýut PTK-nyň ulalmagyna getirýär. Basyşyň ulalmagy başda T_e ekwiwalent temperaturanyň ulalmagyna getirýär, soňra berilýän ýylylygyň ulalmagy bilen (suwyň doýma temperaturasyna çenli gyzdyrylmagy) şeýle ulaltma P_e basyşyň kiçeltmegine getirýär we aýlawyň peýdalylygyny kiçeltýär.



1-nji çyzgy. Dürli basyşdaky basyşly ideal aýlawlaryň T-S diagrammada deňeşdirmesi.

Turbinanyň doly ýylylyk tapawudy H_0 , P_0 ulalmagy bilen h - s diagrammada izoterma $t_0 = \text{const}$ galtaşma çyzygy ab , $P_k = \text{const}$ izobara parallel bolýança ulalýar (çyzgy 2.). P_0 -yň soňra ulalmagy doly ýylylyk tapawudyň H_0 kiçelmegine getirýär.

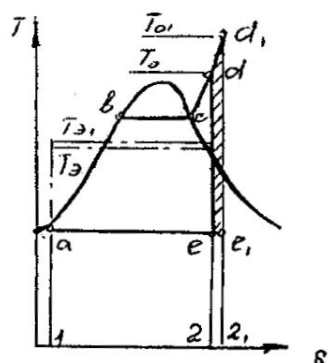


2-nji çyzgy. Başdaky üýtgeýän temperaturada we ahyrky üýtgeýän basyşda, doly ýylylyk tapawudynyň başdaky basyşyna P_0 - görä üýtgeýşi.

ab - P_1 -izoterma parallel, t_0 izoterma galtaşýan çyzyk. h - s diagrammada $t_0 = \text{const}$ ýagdaýynda P_0 basyşyň ulalmagy bilen täze bugyň entalpiýasynyň h_0 kiçelýändigini görkezýär. Munuň bilen maksimum PTK bugyň iň uly basyşynda ýetilýär. Başdaky bugyň basyşynyň P_0 ulalmagy t_0 we P_k üýtgemeýän ýagdaýynda T - S diagrammadan görnüşi ýaly, ahyrky bugyň çyglylygyny ulaltýar, oňositel içki PTK kiçeltýär içki pilçeler iýilýär, şonuň üçin 14% ýokary ulaltmak goýberilmeýär. Şeýlelikde bugyň başdaky basyşy ýokarlandyrylanda onuň başdaky temperaturasy hem ýokarlandyrylýar, ýa-da bug aralykda aşa gyzdýrylýar. Meselem: Kondensasion turbinalarda başdaky basyşy $P_0 = 3,15$ - $4,14$ MPa bolanda $t_0 = 9$ MPa bolanda $t_0 = 500^\circ\text{C}$ kiçi bolmaly däl.

Bugyň temperaturasynyň täsiri.

Bugyň başdaky temperaturasynyň aýlawyň termiki PTK-a täsir T - S diagrammada oňat görmek bolýar. Başdaky temperaturany T_0 -dan T_{01} çenli ulalýar (çyzgy 3.). $T_k = \text{const}$ ýagdaýda.



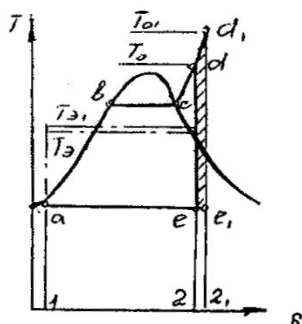
3-nji çyzgy. T - S diagrammada bugyň başdaky temperaturalary (dürli) ideal aýlawlaryň deňeşdirilişi.

Temperaturanyň ulaldylmagyny esasy labstd21 aýlawyna goşmaça 2ddj2t2 aýlaw goşlan ýaly seredip bolýar. Şonuň üçin esasy aýlawda berlen ýylylygyny

ortaça temperaturasy T_e goşmaça aýlawiň ortaça temperaturasyndan kiçi alynýan ýylylygyň temperaturasy bolsa iki aýlawda-da bir goşmaça aýlawyň termiki PTK-sy esasyňkydan uly. Eger-de giňelme prosesi çygly bug böleginde gutarýan bolsa temperaturanyň ulaldylmagy turbinanyň soňky basgançaklarynda bugyň çyglylyk derejesini kiçeltýär, bu bolsa termiki PTK-nyň ulaldylmagy bilen otnositel içki PTK-nyň hem ulalmagyna getirýär. PTK ulaltmak üçin häzirki zaman ýylylyk energetikasynda aşa bugyň temperaturasy $545-565^{\circ}\text{C}$ -da giňden ulanylýar. Şondan aşa gyzdymak temperaturasy geçilýär, häzirki zaman metallurgiýanyň mümkinçiliklerine seredip gyzgyna çydamly polatlar stansiýanyň gymmatlamagyna getirýär.

Ahyrky basyşyň täsiri.

Işlän bugyň basyşynyň P_k kiçeldilmegine başdaky parametrleriň üýtgemedik P_0 , t_0 ýagdaýynda kondensasiýa temperaturasynyň kiçelmegine we ýylylyk alma T_k temperaturasyňa täsir edýär, berilýän ýylylygyň ortaça temperaturasynyň T_e kiçelmegi göz önünde tutulmaýar. Şeýlelikde ahyrky basyşyň kiçeldilmegi berlen a_e alynan ýylylygyň ortaça temperaturasynyň ulaltmagyna doly ýylylyk tapawudynyň ulalmagyna we aýlawyň termiki PTK-nyň ulalmagyna getirýär. Munuň şeýledigine T-S diagrammada bugyň dürli ahyrky basyşly ideal ýylylyk aýlawynda görmek bolýar.



4-nji çyzgy. Dürli ahyrky basyşly ideal ýylylyk aýlawlaryň T-S diagrammada deňeşdirilişi.

Birinji aýlawyň absde a_1 meýdany ikinji (bugyň ahyrky basyşy uly) aýlawdan a_1 bsde a_1 -dan uly ştrihlenen konturyň meýdany ýaly a_1e_1 ea. Şeýlelikde doly ýylylyk tapawudy birinji aýlawyňkydan aşakdaky ulululyk ýaly uly.

$$\Delta H_0 = (T_{k_1} - T_k)(S_0 - S'_k)$$

Doly ýylylyk tapawudynyň ulalýandygyny h-s diagrammada aňsat görmek bolýar. Basyşy kiçeltmegiň teoretiki çägi P_k basyşda doýma temperaturasy bilen kesgitlenýär, ol gurşap alan sredanyň temperaturasyndan kiçi bolmaly däl. Şeýle bolmasa kondensasiýa wagtynda gurşap alan sreda (sowadyjy suwa) ýylylyk geçmeýär. Ýylylyk berýän kondensata öwrülýän bug bilen ýylylyk alýan sowadyjy suwuň arasynda ýylylyk çalyşma bolar ýaly temperatura tapawudyny döretmeli.

Işlän bugyň doýma temperaturasy aşakdaky deňlikden alynýar.

$$t_k = t_{1b} + \Delta t + \delta t \quad (1)$$

t_{1b} -sowadyjy suwuň kondensatora girýän ýerindäki temperaturasy.

Δt -kondensatorda sowadyjy suwuň gyzmagy.

$\delta t = t_k - t_{2b}$ -temperatura napory

t_{2b} -suw üpjünçiliginiň tipine we klimat şertlerine bagly 10-12 aýlanşyk suwy bolanda 20-25.

Δt - kondensatoryň ýylylyk balans deňlemesinden hasaplanylýar.

$$\Delta t = t_{2b} - t_{1b} = \frac{h_k - h'_k}{4,19m}; \quad m = \frac{G_n^{otr}}{G_b^{ohl}}; \quad \begin{matrix} m = 50 \div 90 \\ \Delta t = 11 \div 6^\circ C \end{matrix}$$

$$h_k - h'_k = 2200 \div 2300 \text{ kJ / kg}$$

(1) deňlemä t_{1b} , Δt , δt bahalaryny goýup doýma temperaturasy t_k hasaplanylýar, soňra bugyň tablisasyndan kondensatordaky basyş kesgitlenilýär.

Häzirki zaman uly bug turbinalarynda kondensatorda basyş $P_k=3,5-4\text{KPa}$ ulalýar, onuň doýma tepmeraturasy $26-29^\circ\text{C}$.

Turbina klaslary

Ýylylyk prosesleriniň häsiýetlerine görä turbina tiplerini aşakdaky esasy görnüşlere bölünýär:

1) Kondensasion bug turbinaşy munda täze bugyň hemme mukdary (regenerasiýa alynýan buglardan başgasy) atmosfera basyşyndan hem kiçi basyşa çenli giňelip kondensatora barýar, hem-de işlän bug az ýylylygyny sowadyjy suwa berýär we peýdaly ulanylmaýar.

2) Garşy basyşly turbina – munda işlän bugyň hemmesi ýylylyk sarp edijä gönükdirilýär, ýyladyş ýa-da önümçilik maksatlary üçin ýylylygy ulanmaga.

3) Bug sazlanyp alynýan kondensasion turbinalary –munda bugyň bölegi aralykdaky basgançaklardan alynýar we hemişelik saklanýan basyşda ýylylyk sarp ediljilere ugradylýar bugyň galan bölegi bolsa soňky basgançaklarda işini ýerine ýetirip kondensatora barýar.

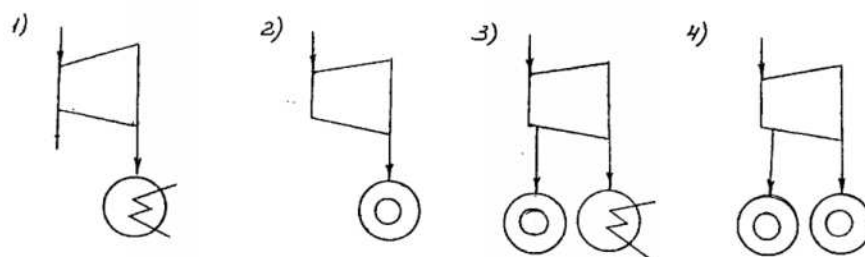
4) Bugy sazlanyp alynýan we garşy basyşly turbinalar –munda bugyň bölegi aralykdaky basgançaklardan hemişelik basyşda uly basyşda işleýän sarp edijä berilýär galan bölegi bolsa soňky basgançaklardan geçip kiçi basyşda işleýän ýylylyk sarp edijä ugradylýar.

Dölet standarty boýunça turbinalaryň belgilenşi aşakdaky ýaly belgilenýär: ilkinji harpy turbinaşyň tipini häsiýetiendirýär: K-kondensasion, t-teplokifikasiýa üçin bug alýan kondensasion turbina senagatda sarp ediji üçin bug saýlap alynma turbinaşy PT-önümçilik we teplokifikasiýa üçin bugy saýlap alma turbinaşy.

P-garşy basyşly.

PR-önümçilige saýlanyp alynma we garşy basyşly.

Hasrplar belgisinden soňra turbinanyň kuwwatlylygy (Mwt) görkezilýär (eger-de drobly bolsa sanawjyda nominal, maýdalawjyda maksimal kuwwatlyk) soňra buguň basyşdaky basyşy kgs/cm^2 görkezilýär. Kondensasion turbinalaryň kuwwatlylygy 150 Mwt uly bolanda bug aralykda aşa gyzdyrylýar. Nominal kuwwatlylyk diýip beýleki esasy parametrleriň nominal bahalarynda öndürýän uly kuwwatlylyga aýdylýar. Öňki SSSR-iň ÝES-lerinde ýaýran turbinalaryň esasy parametrleri we häsiýetleri aşakdaky tablisada görkezilen.



1-nji çyzgy. Kondensatorly we garşy basyşly turbinanyň görnüşleri.

Tablisa. Kābir turbinalaryñ esasy görkezijileri.

Görkeziji	T-50-130	PT6 0-130/13	K-100-90	T-100-130	K-160 - 130	PT-135/16 5-130/15	K-200-130	K-300 - 240	K-300-240	T-250/200-240	K-500-240	K-800-240	K-1200-240
Taýýarlan zawody	tmz	lmz	lmz	Tmz	htz	tmz	lmz	htz	lmz	tmz	Htz	lmz	lmz
Nominal kuwwaty Mwt	55	60	110	105	110	135	210	300	300	250	500	800	1200
Maksimal kuwwaty Mwt	65	75	115	120	165	165	215	320	330	300	535	850	1380
Başdaky basyş Mpa	1275	1275	883	1275	1275	1275	1275	235	235	235	235	235	235
Baş temperatu ra °C	555	565	535	555	565	555	565	560	560	540	540	540	540
Aralykda aşy gyz. Basyşy Mpa	net	net	net	net	2,8	net	2,31	3,53	3,53	3,73	3,63	3,8	3,9
Aralykda aşy gyzdyrmanyñ t-sy °C	-	-	-	-	565	-	565	565	565	540	540	540	540
Ahyrky basyş Kpa	5,4	-	3,43	-	3,43	7,35	3,46	3,43	3,43	6,9	3,5	3,43	3,58
Iýmitlendiriji suwyñ t-sy °C	232	242	224	232	229	-	240	265	265	263	265	274	274
Regenerasiýa sany	7	7	8	7	7	8	7	9	8	8	9	8	9
Bugyñ mukdary kg/s	92/95	-/108	111/117	127/129	127/143	208/211	165/186	-/264	247/258	265/272	-/458	670	1018
Silindr we akymyñ sany													

Turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgeýşi.

Gysylýan suwuklygyň akymy üçin esasy deňlemeler.

Turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgeýşi hem-de turbinanyň elementleriniň energetiki häsiýetlerini - stator we sazlaýjy klapanlaryň goýberiji turbalaryň turbina korpusyndan bug sazlanyp alynmagy we baş umumy ýagdaýda gysylýan suwuklygyň esasy kanunlary bilen ýazylýar. Turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgeýiş prosesini we hasaplamasyny gysylýan suwuklygyň bir ölçegli hereket deňlemeleri (hal deňlemesi, üznüksizlik deňlemesi, hereketiň mukdar deňlemesi we energiýanyň saklanma deňlemesi) bilen kesgitlenilýär.

Kanalyň kese-kesiginiňhemme nokatlarynda suwuklygyň hereketiniň parametrleri (tizlik, basyş, udel göwrüm we ş.m.) hemişelik, diňe kanalyň uzynlygyna üýtgeýär. Şeýe akyma bir ölçegli akym diýilýär.

Hal deňlemesi. Gaz akymynyň parametrleri kese-kesigiň her nokadynda akym bir ölçegsiz bolsa biri-biri bilen ýagdaý deňlemesi arkaly baglanşykly ideal gaz üçin bu deňleme:

$$P \cdot \vartheta = RT$$

R-gaz hemişeligi.

Bug üçin şu deňlemäni käbir golaýlaşdyrmalar bilen aşa gyzdrylan bug üçin ulanmak mümkin. Has takyk aşa gyzdrylan bug üçin aşakdaky baglanşyk ulanylýar:

$$k = k / k - 1 \cdot P \cdot \vartheta + const \quad (2)$$

Bugyň entalpiýasy üýtgemän galýar haçanda $p \cdot \vartheta$ köpeldiji hemişelik bolan ýagdaýynda. Hasaplamalar praktikasynda giňden ýaýrany suw bugunyň tablisasy we şu tablisalaryň esasynda düzülen h-s diagramma suw bugynyň ýaýrama dürli oblastda takyk hasapiamaga mümkinçilik berýär.

Gaz ýagdaýynyň üýtgemegi akymyň bir kesikden beýlekisine geçende dürli bolmagy mümkin.

Yagdaýyň üýtgame prosesi, üýtgameýän temperaturada-izotermiki üýtgameýän basyşda izobariki, gazyň daşky sreda bilen ýylylyk çalyşmasy ýok mahalynda we akymyň mehaniki energiýasynyň ýitgisi ýok mahalynda izoentrop.

Agzalyp geçilen her bir prosese degişli deňlemeler bilen ýazylyp bilner. Geljekde ulanyljak izoentrop prosesi izoentrop deňlemesi bilen ýazylyp bilner:

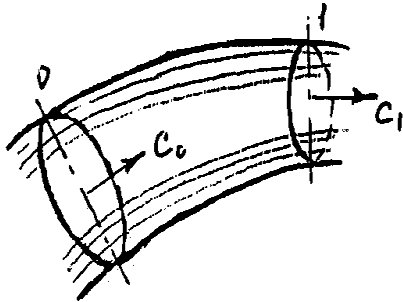
$$P \cdot \vartheta^k = const \quad (3)$$

$k=1,3$ aşa gyzan bug.

$k=1,135$ gury doýgun bug.

$h-s$ diagrammanyň kömegi bilen gaz ýagdaýynyň izoentrop üýtgemesi $S=\text{const}$ çyzgynyň ugrunda hasaplama geçirilýär.

Üznüksizlik deňlemesi. Kanaldan bir ölçegli we durnukly gysylýan suwuklygyň hereketine seredeliň. Yerli tizligiň akymynyň ugruna perpendikulýar 0-0 we 1-1 kesip, kanal bölegini alalyň. (çyzgy 1.)



1-nji çyzgy. Üznüksizlik deňlemesiniň çykarylyşyna.

Massanyň saklanma kanuny esasynda akymyň üznüksizlik şertine görä, durnukly hereketde gazyň massasy kanalyň böleginiň 0-0 kesigine girýän ýerindäki massasy 1 -1 kesikden akýan gazyň massasyna deňdir. $G_0=G_1$. Eger-de şu deňlik bozulsa onda 0-0, 1-1 keaýlawerinde gazyň mukdary köpelerdi ýa-da azalardy şeýlelikde gazyň parametrleriniň wagta görä üýtgemegi durnuklylyk hereketine ters gelýär.

0-0 kesiginden 1 sekuntda gaz mukdaryny aňsatkesgitläp bolýar, eger-de 0-0 kesikde parametrlr belli bolsa C_0 , udel göwrümi ϑ_0 , kese-kesigiň meýdany F_0 .

$$G_0 = F_0 \cdot C_0 / \vartheta_0$$

Meňzeşlikde 1-1 kesikdäki massa mukdary kesgitlenilýär: $G_1 = F_1 / \vartheta_1$ 0-0 we 1 -1 kesikleriň mukdar deňliklerinden

$$F_0 \cdot C_0 / \vartheta_0 = F_1 \cdot C_1 / \vartheta_1$$

Şeýlelikde dürli kese-kesik üçin bir ölçegli durnukly akymda massa mukdar ululygy hemişelik we aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$G = F \cdot C / \vartheta = \text{const} \quad (4)$$

Üznüksizlik deňlemäniň integral formulasyndand (4) aňsat şu deňlemäniň differensial formulasyny tapmak mümkin. (4) deňlemäni differensirläp we logarifmirläp aşakdakyny alýarys.

$$dF / F = d\vartheta / \vartheta - dc / c \quad (5)$$

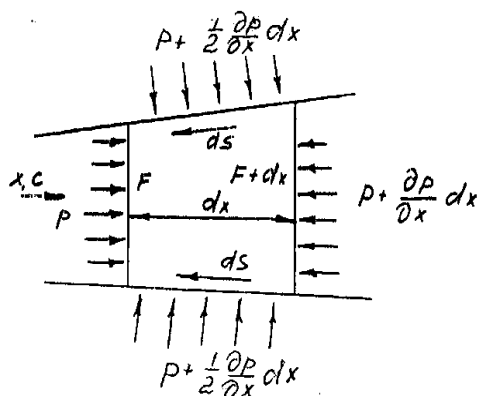
(5) deňlemeden akymyň otnositel kese-kesiginiň meýdany tizligiň we udel göwrümiň üýtgemegi bilen kesgitlenilýär. Eger-de tizligiň üýtgemegi udel göwrümiň üýtgemesinden uly bolsa onda akymyň kese-kesiginiň meýdany kiçelmegi tizligiň ulalmagy bilen.

Eger-de kanalyň kese-kesiginden akymyň parametrlerini hemişelik hasap edip bolmasa, onda şu kesikden massa mukdaryny meýdana görä integrirläp kesigiň hemme nokatlaryndaky parametrlerine görä göz öňünde tutup:

$$G = \int_n c / \vartheta \cdot dF \quad (6)$$

Hereketiň mukdar deňlemesi. Bir ölçegli durnukly akym üçin kese-kesigi F we F+dF meýdanly dX aralykda suwuklyk elementine seredeliň. Bu suwuklyk elementiniň F kesigine PF basyş güýji.

F+dF kesigine $(P+dP/dX)dF$ güýç täsir edýär, güýç basyşynyň proyeksiýasyna deň, üstlere perpendikulýar we garşylyk güýji (sürtülme) dS täsir edýär.



2-nji çyzgy. Hereketiň mukdar deňlemesine çykarylyşyna.

Nýutonyň kanuny esasynda täsir edýän güýçleriň jemi alnan elementiniň akymynyň massasynyň tizlenmesine köpeldilmegine deň.

$$FdX / \vartheta \cdot dc / dt = PF + (P + 1/2 \cdot dP / dX) dF - (P + dP / dX \cdot dX) F + dF - dS \quad (7)$$

Deňlemäniň çlenlerine $dm = FdX / \vartheta$ bölüp alarys.

$$dc / dt = \vartheta \cdot dP / dX - dS / dm = -\vartheta \cdot dP / dX - S_1 \quad (8)$$

nirede: S_1 -garşylyk güýji, akymyň birlik massasyna degişli.

Bir ölçegli durnukly akymda basyş X üýtgemäniň funksiýasydyr, şonuň üçin $dP/dX = dP/dX$ (8) deňlemäniň çep we sag bölegini dX köpeldip, $dX/dt = c$ bolýandygyny göz öňünde tutup hereketiň mukdar deňlemesini ahyrky görnüşde ýazýarys.

$$cdc = -\vartheta dP - S_1 dX \quad (9)$$

$S_1 = 0$ deň ýagdaýynda

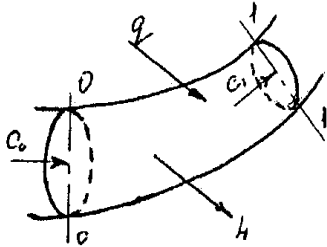
$$cdc + \vartheta dP = 0 \quad (9a)$$

1-nji çyzgydaky 0-0 kesigiň tizligini c_1 , l-l kesigiň c_{1t} belläp H.M.D integrirläp H.M.D izoentrop akym üçin alýarys.

$$c_1^2 - c_0^2 = \int_{P_0}^P g dP = P_0^{k/1} g_0 \int_{P_0}^P dP / P^{1/k} =$$

$$= K / K - 1 \cdot P_0 \cdot g_0 \left[- (P_1 / P_0)^{k-1/k} \right] \quad (10)$$

Energiýanyň saklanma deňlemesi.



3-nji çyzgy. Energiýa deňlemesiniň çykarylyşyna.

Bugyň ýa-da gazyň durnukly akymyny 0-0 kesikden 1-1 kesik aralykda seredeliň. Termodinamikadan belli bolşy ýaly 0-0 kesikde gazyň ýa-da bugyň her kilogramy akymda energiýaly entalpiýanyň h_0 we kinetik energiýanyň $c_0^2/2$ jemine deň, 1-1 kesikleriň arasynda bugyň ýa-da gazyň her kilogramyna q -ýylylyk berilýän h mehaniki iş alynýar. Onda energiýanyň saklanma kanunyna görä durnukly rezimde sistema berilýän energiýa alynýan energiýa deň bolmaly.

$$h_0 + c_0^2 / 2 + q = h_1 + c_1^2 / 2 + h \quad (11)$$

Energiýanyň saklanma deňlemesi (11) mehaniki ýitgili energiýa akyma we izoentrop akymynada degişli. Differensial formada energiýanyň saklanma deňlemesi akym üçin aşakdaky:

$$dh + cdc - dq + dl = 0 \quad (12)$$

Energetiki izolirlenen akymda ýagny ýylylyk berilýän we alynýan bolmasa hem-de mehaniki iş bolmasa indiki görnüşde ýazylýar.

$$dh + cdc = 0 \quad (12a)$$

integral formada

$$h + c^2 / 2 = const \quad (13)$$

ýagny bir ölçegli akymyň dürli kese-keasiklerinde işçi jisimiň 1 kg massasy üçin entalpiýanyň we kinetik energiýanyň jemi hemişelik.

Köplenç entalpiýany udel göwrüm we basyş bilen ýazýarlar, şeýlelikde energiýa deňlemesi aşakdaky ýaly ýazylýar.

$$K / K - 1 \cdot P g + c^2 / 2 = const \quad (14)$$

Şeýlelikde impuls deňlemesi (10) energiýa deňlemesi bilen gabat gelýär. Izoentrop akymda ýöne izoentrop däl ýagdaýda energiýa deňlemesi görnüşi ýaly ýitirilmeýär, impuls deňlemesi garşylyk güýç çlenini göz önünde tutmaly.

Kanallarda akymyň esasy häsiýetleri we parametrleri

Bir ölçegli kanallarda konfuzor we diffuzor görnüşde bolýar. Konfuzor akym diýip kanallarda işçi jisimiň tizliginiň akymyň ugruna görä ulalmagyna aýdylýar.

Diffuzor akymy diýip işçi jisim tizliginiň akymyň ugruna görä kiçelmegine aýdylýar.

Turbomaşynlaryň uzynlygyna (bug we gaz turbinalarynda kompressorlaryň) konfuzor bolup turbinanyň soplasy we işçi pilçeleriniň kanallaryndaky akym hyzmat edýär. Diffuzor bolup bolsa kompressoryň gönükdiriji we işçi pilçelerindäki hem-de gaz we bug turbinalaryň çykaryjy patrubkalaryndaky akym hyzmat edýär.

Energiýa deňlemesinden görnüşi ýaly konfuzor akymda turbinanyň soplalarynda, akymyň uzynlygyna tizligiň ulalmagy bilen işçi jisimiň entalpiýasy kiçelýär. Diffuzor akymda tersine entalpiýa ulalýar, tizlik kiçelýär. Soplasy kanallarynda entalpiýanyň kiçelmegi bilen kanalyň uzynlygyna basyşam kiçelýär, şeýle ýagdaýa işçi jisimiň giňelmegi diýilip aýdylýar, tersine diffuzor kanallarynda akymyň ugruna basyş ulalýar, şeýle ýagdaýa işçi jisimiň gysylmagy diýilýär. Kanallarda bir ölçegli akymyň hasaplamasyna kesikdäki akymyň doly saklanmagy diýen parametr girizilýär. Akymyň doly saklanmagynyň parametri akymyň ýagdaýyndan nol tizlige çenli doly izoentrop saklanmagynda ýetilýär we haýsyda bir kesigiň effektiw parametri diýilýär.

Doly saklanmanyň parametri energiýa deňlemesi bilen hasaplanyp bilner.

$$h = c^2 / 2 = \text{const}$$

Energiýa deňlemesindeki konstanty şertlenen kesikdäki energiýa hökmünde seredip bolar $c=0$ -daky we doly saklanma parametri hökmünde akymyň kesigi üçin ýazyp bolar.

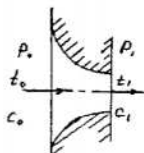
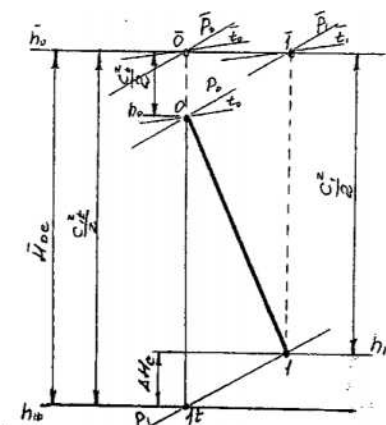
$$c^2 / 2 + k / k \cdot P \vartheta = k / K - 1 \cdot \overline{P \vartheta} = \text{const}$$

Şu deňlemede $\overline{P}, \overline{\vartheta}, \overline{T}, \overline{h}$ - doly saklanma parametrleri, h entalpiýa we c tizligi kesikdäki parametrleriň (15) deňlemeden \overline{T} we \overline{h} dürli kesik üçin hemişelik bahasy boýunça $\overline{P}, \overline{\vartheta}$ köpeldiji diňe izoentrop akymda hemme kesik üçin hemişelik. Ýöne energiýaň ýitgili akymynda \overline{P} kiçelýär, $\overline{\vartheta}$ bolsa ulalýar. (çyzgy 4.) Doly saklanmanyň parametrleri h -s diagrammanyň kömegi bilen hasaplanyp bilner. Soplasy girelgedäki kesikdäki parametrleri 0 indeksi bilen, sopladan çykalgadaky kesigiň parametrlerini 1 indeksi bilen. Eger-de ýitgini energiýa akymy bolsa, h indeksi bilen izoentrop akymynyň parametrleri görkezilen. Izoentrop akymda sopladan çykan tizlikli energiýa deňlemesinden peýdalanyp, soplanyň giren we çykan ýerlerindäki kesikler üçin ýazylyan.

$$C_0^2/2 + h_0 = C_{1t}^2/2 + h_{1t}$$

Bu ýerde sopladan çykan ýerindäki teoretiki tizük h_{1t} -entalpiýa P_1 basyşy

boýunça tapylýar, sopladan çykan ýerindäki kesikde. (çyzgy 4.)



4-nji çyzgy. Sopladan bug akanda üýtgemme prosesi h-s diagrammada.

Sopladan çykandaky akymyň hakyky tizligi (energiýanyň ýitgilisi) energiýa deňlemesiniň hakyky parametrleri üçin soplanyň girelge we çykalga kesigi üçin ýazylan deňlemeden hasaplanylýar.

$$C_0^2/2 + h_0 = C_1^2/2 + h_1$$

$$C_1 = \sqrt{2(h_0 - h_1) + C_0^2} \quad (17)$$

$$h_0 - h_{1t} = h_{1t} + C_0^2 = C_{1t}^2/2$$

Entalpiýanyň tapawudy soplada ýylylygynyň doly üýtgemegi diýilýär we HOc bilen belgilenýär, h-s diagrammada izoentrop bölegi hökmünde görkezilýär.

Doly saklanma parametrlerini hasaplamak üçin (sopla girelgesindäki kesikde) h-s diagrammada 0 nokatdan ýokarlygyna izoentrop boýunça akymyň tizliginiň kinetik energiýasyny $c^2/2$ goýýarys.

Şu bölegiň soňundaky nokady 0 belgileýäris, P izobara, t izoterma, h_0 entalpiýa çyzygy we boş doly saklanmanyň parametrleri bilen belgilenen.

Meňzeşlikde sopladan çykýan ýerindäki kinetik energiýany $c_{1t}^2/2$ ýokarlygyna goýýarys. Şu goýulan kesimiň soňundaky 1 nokatdan geçýän P_1 izobara, t_1 izoterma doly saklanmanyň parametri.

Şeýlelikde energiýanyň kinetik energiýasynyň ýitmegi doly saklanmanyň basyşyna akymyň uzynlygyna kiçelýär.

Doly saklanma parametrlerinden aýratynlykda P_0 t_0 h_0 , P_1 t_1 h_1 statiki basyş temperatura entalpiýa diýilýär.

$h_1 - h_{1t}$ -entalpiýanyň tapawudy, sürtülme güýjüne garşy bug bilen edilen işe ekwiwalent.

Başga söz bilen aýdylanda $h_1 - h_{1t}$ entalpiýanyň tapawudy akymyň sürtülme güýjüne görä ýiten kinetik energiýasy. Soplа üçin bu ululyk H_c belgilenýär we energiýa deňlemesiniň kömegi bilen teoretiki we real akym üçin kesgitlenip bilner:

$$h_{1t} - \frac{c_{1t}^2}{2} = h_1 + \frac{c_1^2}{2}$$

Şonuň üçin

$$\Delta H_c = h_1 - h_{1t} = \frac{c_{1t}^2}{2} - \frac{c_1^2}{2} \quad (18)$$

Akym häsiýetleriniň esaslary bolup ses tizligi we akymyň kritiki tizligi hyzmat edýär. Ses tizligi akymyň statiki parametrleri boýunça kesgitlenilýär.

$$a = \sqrt{K P g} = \sqrt{K R T} \quad (19)$$

Akymyň kiritiki tizligi diýip kesikdäki akymyň tizligi ýerli ses tizligine deň bolmagyna $C_1 = a = C_{kr}$ aýdylýar. Akymyň tizliginiň kesikdäki kritiki tizligine ýetilmeğine kritiki kesik diýilýär.

Şu kesikdäki parametrlerde kritiki parametrlər diýilýär. (P_{kr} , T_{kr} , h_{kr} , g_{kr}) (19) deňlemeden görnüşini ýaly ýerli ses tizligi diňe statiki temperatura bagly, ses tizligi hasaplanylýan kesikde. Şeýlelikde akymyň kritiki tizligi, akymyň kritiki temperaturasy boýunça kesgitlenilýär.

$$C_{kr} = \sqrt{K R T}$$

Akymyň hasaplamasynda esasy akymyň ölçegsiz parametrleri hyzmat edýär, olara degişli oňnositel basyş E statiki basyşyň kesigiň doly saklanma basyşyna bolan gatnaşygyna deň. p/p oňnositel temperatura p/p oňnositel udel göwrümiň g/g we ş.m. Bulardan başgada akymyň ölçegsiz parametrlere ölçegsiz ululyklar M we x girýär.

$$M = C / a$$

Mahyň sany

$$\lambda = C / C_{kr}$$

ölçegsiz tiz ük.

Akymyň iki ölçegsiz ululyklarynyň arasynda funksional baglanşyk bolýar. Meselem (15) deňlemedäki $Kr = a^2$ çalyşyp täze formasyny alýarys.

$$C^2 / 2 + a^2 / k - 1 = (K + 1 / K) - 1 \cdot C_{kr}^2 / 2$$

(15) deňlemäniň hemme çlenlerini konstanta bölüp deňlemäniň sag bölegini birinji çlen-konstanta kritiki tizlik bilen goýulan ikinji çlen konstanta saklanma parametrleri bilen belgilenen we alýarys.

$$K - 1 / k + 1 \cdot \lambda^2 + P / P \cdot g / g = 1$$

Izoentrop deňlemesini ulanyp hemme kesik üçin alýarys.

$$E = P / P = \left(1 - (K - 1 / K) + 1 \cdot \lambda^2 \right)^{K / K - 1} \quad (20)$$

Kritiki kesikde $\lambda = 1 = \backslash$ şeýlelikde kritiki basyşyň gatnaşygy P_{kr}/P aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$E_{kr} = P_{kr} / P = (2 / K + 1)^{K / K - 1} \quad (20a)$$

Kritiki tizligi köp halatlarda akymyň doly saklanmasynyň parametrleri bilen kesgitlenýär.

$$C_{kr} = \sqrt{2(K / K + 1) \cdot RT} \quad (21)$$

ýa-da

$$C_{kr} = \sqrt{2(K / K + 1) \cdot P \vartheta} \quad (21a)$$

Akymyň esasy ölçegsiz parametri getirilen (otnositel) mukdary g massa mukdarynyň kesigiň meýdan birliginiň gatnaşygynyň G/F şol kesigiň kritiki parametrlerindäki massa mukdarynyň meýdan birligine G_{kr}/F gatnaşygynyň gatnaşygydyr.

$$q = G / F \cdot G_{kr} / F = G / G_{kr}$$

ýa-da üznüksizlik deňlemesini peýdalanyp

$$q = G / \vartheta \cdot \vartheta_{kr} / G_{kr} \quad (22)$$

Getirilen mukdary q başgaçada dürli ölçegsiz parametrleri bilen kesgitläp bolýar $(\lambda, \varepsilon, \frac{T}{T^I}, \vartheta/\vartheta^I)$ (22) deňlemäniň sanawjysyny we maýdalawjysyny ϑ^I bölüp izoentrop deňlemesini peýdalanyp aşakdakyny alýarys.

$$q = \lambda(k + 1/2 - (k - 1)/2 \cdot \lambda^2)^{1/K-1} \quad (23)$$

ýa-da

$$q = (2 / K + 1) K + 1 / K - 1 \cdot 2 / K - 1 (\varepsilon^{2/K} - \varepsilon^{K+1/K}) \quad (24)$$

Şol bir kesikde akymyň ölçegsiz parametrleriň arasyndaky baglanyşyklar (20), (23), (24) gazodinamiki funksiýalar diýilýär. Tablisalary gazodinamiki sprawoçniklerde berilýär.

Getirilen mukdar kanaldan izoentrop akymda kritiki kesikdäki meýdanyň hasaplanyp kesigiň meýdanyna bolan gatnaşygy hökmünde seredip bolýar, (çyzgy 6.) F we F_{kr} meýdan üçin üznüksizlik deňlemesi.

$$G = G_{kr} = C \cdot F / \vartheta = C_{kr} \cdot F_{kr} / \vartheta_{kr}$$

Bu gatnaşykdan kesikdäki getirilen mukdar

$$q = C / C_{kr} \cdot \vartheta_{kr} / \vartheta = F_{kr} / F \quad (25)$$

(25) deňlemede kanalyň kiçi kesigi kritiki diýip ulanyldy. (25) deňlemeden dürli kesikde akymyň parametrlerini izoentrop akymda kesgitläp bolýar, eger bir kesigiň parametrleri belli bolsa. Hasaplama q -ň bir bahasyna ölçegsiz

parametrleriň iki bahasyna mahsusdyr, biirnji sesden önki akym tizligine, ikinjisi sesden ýokary tizlige degişli.

Kiçelýän-giňelýän sopla Lawalyň soplasy diýilýär. Kanalyň iň kiçi kesiginde, kritiki parametrlere ýetilýär. Şeýlelikde ölçegsiz tizlik $\lambda = 1$, şu kesikden çepde sesden önki tizlik ýagny $\lambda < 1$, $\varepsilon_{kr.otn.}$ otnositel basyş basyşdan uly $\varepsilon_{kr} \cdot \varepsilon < \varepsilon_{kr}$.

Şol kesigiň sag tarapy ýokary sesli tizlik ýagny $\lambda > 1, \varepsilon < \varepsilon_{kr}$, 6-njy çyzgydaky ölçegsiz parametrleriň baglanşygy soplanyň uzynlygyna hakyky tizligi C_1 , basyşy P , T ses tizligini kesgitlemäge mümkinçilik berýär, eger-de başdaky parametrleri belli bolsa. Bugyň ýa-da gazyň mukdary Lawalyň soplasynda geçýäni kritiki kesigiň parametrleri bilen üznüksizlik deňlemesinden kesgittenip bilner.

$$G = G_{kr} = F_{kr} \cdot C_{kr} / g_{kr}$$

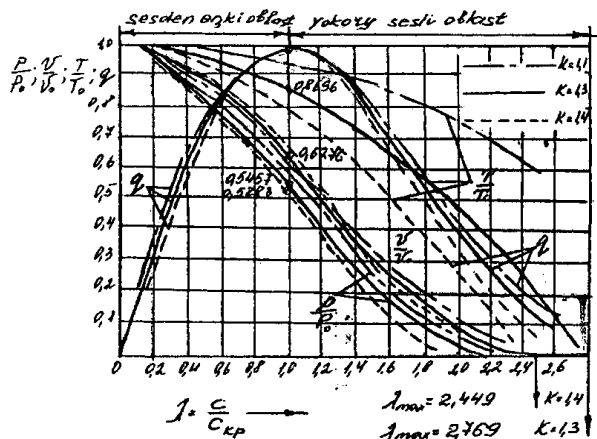
C_{kr} -bahasyny goýup, ϑ_{kr} -izentrop deňlemesinden doly saklanmanyň udel göwrümi bilen we basyşyň kritiki gatnaşygyny peýdalanyp alaryrys.

$$G_{kr} = F_{kr} (2 / K + 1)^{K+1/K-1} k \cdot P'_0 / g'$$

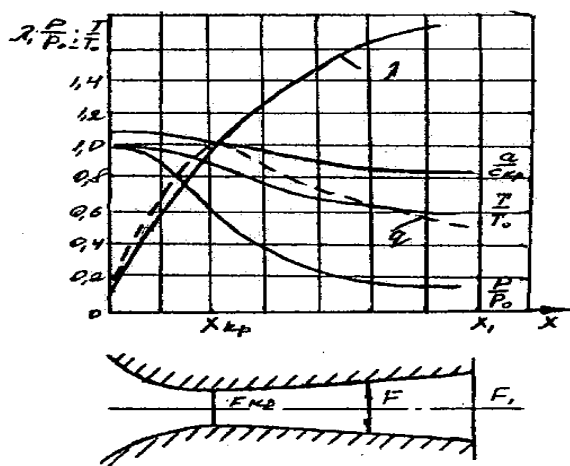
ýa-da

$$G_{kr} = \chi F_{kr} \cdot P'_0 / g'$$

λ -bug we gaz häsiýetlerine bagly koeffisiýent.



5-nji çyzgy. Akymyň ölçegsiz parametrleriň otnositel tizlige baglylygy.

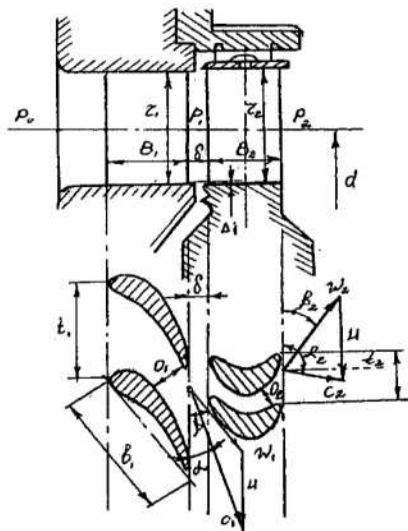


6-nji çyzgy. Lawalyň soplasynda ölçegsiz parametrleriň akymyň ugruna ýaýraýşy.

Bir wenaly turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgemegi

Turbina basgançagy diyip gozganmaýan sopla pilçeleriniň köplüğine, (olaryň kanallarynda bugyň akymy tizlenýär) we işçi pilçeleriň aýlanýan böleginde (olarda hereket edýän bugyň energiýasy rotory aýlamak bilen mehaniki iş etýär) aýdylýar.

1-nji çyzgyda turbina basgançagynyň shematiki basgançaklary görkezilen. Sopla pilçelerinde işçi jisim P_1 basyşdan sopla bilen işçi pilçeleriň arasyndaky P basyşa çenli giňelýär. Sopla pilçelerinden çykan işçi bug giňelme prosesinden C_1 tizlige eýe bolýar α_1 burç bilen ugrukdyrylan işçi pilçeleriň aýlanma tizliginiň wektoryna. 1 -nji çyzgydan görnüşi ýaly akymyň ugry sopla pilçeleriniň goýulan burçy boýunça berilýär. İşçi pilçeler soplanyň önünde 4 aýlanma tizligi bilen hereket edýärler. Bu tizligiň bahasy işçi pilçeleriň oturan rotoryň diametrine bagly we aýlanma ýygylgyna bagly.

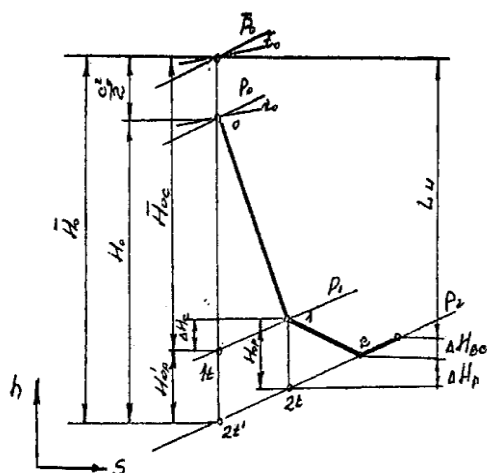


1-nji çyzgy. Turbina basgançagynyň uzynlygyna basgançagyň orta diametrine görä silindrik kesik görnüşi. O_1 we 0_1 sopla we işçi gözenekleriň bokurdagynyň ölçegi.

Işçi pilçe işçi j isim girende otnositel hereketde otnositel tizlik ω_1 bilen süýşýär. Otnositel tizligiň wektory ω_1^I , absolýut tizlikden c_1^I , aýlanma tizligini geometriki aýyrmak bilen hasaplanylýar. Absolýut c_1^I , aýlanma u_1^I , otnositel ω_1^I tizlikleriň wektorlary işçi pilçä girelgede tizligiň üçburçlygyny emele getirýär. Otnositel tizlik we aýlanma tizlik wektorlarynyň arasyndaky burç β_1 , bilen belgilenýär. İşçi pilçe girelgeleriniň ugurlary ýasalanda otnositel tizligiň ugry bilen hasaplanylýar, ýagny β_1 . İşçi pilçeler kanalynda akym mahalynda işçi jisimiň P_1 basyşdan P_2 basyşa çenli giňelýär we akymyň öwrülmesi bolup geçýär. Akymyň

öwrülmesi we işçi jisimiň giňelmesi işçi pilçelere güýç we aýlanma momentini rotorda döredýär we iş edýär. Akymyň öwrülmesi esasynda işçi pilçelerde aktiw güýç döreýär, işçi pilçelerde akymyň tizlenmesi netijesinde güýjüň reaktiw bölegi döreýär işçi pilçelere täsir edýän.

Işçi pilçeleriň kanallarynda çykalgada işçi jisimiň otnositel tizligi ω_2 belgilenýär we işçi gözenek girelgedäki otnositel hereketiň kinetik energiýasy hem-de işçi jisimiň P_1 basyşdan P_2 basyşa çenli giňelendäki energiýa bilen kesgitlenilýär. Otnositel tizlik wektory ω_2^I bilen aýlanma tizlik wektoryny u_1 goşup absolýut tizlik c_2^I wektoryny alarys. ω_2^I tizlik wektorynyň burçuny β_2 belgilenýär, onuň bahasyny bolsa işçi gözenekleriň formalaryny profili we rotorda goýulyşy bilen kesgitlenilýär, şonuň bilen işçi pilçeleriň çykalgasyndaky otnositel akymyň tizliginiň ugruna hasaplanylýar. c_2^I tizlik wektorynyň ugrunyň burçuny α_2 bilen belgilenýär. ω_2^I , u^I , c_2 wektorlary bilen döredilen tizlikler üçburçlygyna çykalgadaky diýip atlandyrylýar.



2-nji çyzgy. *h-s* diagrammada turbina basgançagynda bugyň giňelme prosessi.

Işçi jisimiň turbina basgançagynda giňelme prosesi 2-nji çyzgydaky h-s diagrammada görkezilen. Işçi jisimiň basgançagyň sopl kanalynda giňelmegi başdaky ýagdaýyndan (0 nokady bilen kesgitlenilýän) lt nokadyna çenli izoentrop prosessine degişli. Soplada real prosessi AHC energiýa ýitgisi bilen bolup geçýär, soňra ýylylyk hökmünde akyma gelýär we sopladan soň entalpiýany ulaltýar. Sopladan soň hakyky işçi jisimiň ýagdaýy 1 nokady bilen görkezilýär. h_0-h_1 entalpiýanyň tapawudy we sopl girendäki kinetik energiýa $C_0^2/2$ bilen jemi energiýanyň doly üýtgemesini (soplada) düzýär H_{0c}^I we sopladan çykandaky kinetik energiýa deň, haçanda akym energiýasy ýitgisiz bolanda. Energiýa deňlemesine laýyklykda sopladan çykan akymyň teoretiki tizligi aşakdaky deňleme bilen hasaplanylýar:

$$C_{1t} = \sqrt{2(h_0 - h_{1t}) + C_0^2} = \sqrt{2H'_{0c}} \quad (1)$$

Akymyň hakyky tizligi soplada energiýa ýitgisi bolany üçin c_{1t} , kiçi.

$$C_1 = \varphi \cdot C_{1t} \quad (2)$$

φ -soplanyň tizlik koeffisiýenti.

Işçi pilçeledre işçi jisimiň teoretiki giňelme prosessi 1 nokatdan 2t nokada çenli çyzyk bilen görkezilýär: $h_1 - h_2 = H_p$ tapawut belgilenýär we işçi pilçede doly ýylylyk üýtgemesini görkezýär. $h_1 - h_2 = H_p$ işçi pilçelerinde energiýa ýitgisini görkezýär. Otnositel hereketli akymda işçi pilçelerinde energiýa deňlemesi girelgede we çykalgada aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$h_1 + \omega_1^2 / 2 = h_2 + \omega_2^2 / 2 \quad (3)$$

Deňlemäniň sag tarapynda alynýan işçi pilçede turbinanyň rotoryna statiki iş we akym koordinatada özara täsir edişip nula deň bolýar, täsir edýän güýç nokady (1) deňlemä meňzeşlikde (7) deňlemeden işçi pilçeden çykalgadaky otnositel hereketde akymyň teoretiki tizligini taparys:

$$\omega_{2t} = \sqrt{2(h_1 + h_{2t}) + \omega_1^2} = \sqrt{2H_{0p} + \omega_1^2} \quad (4)$$

Hakyky otnositel tizlik

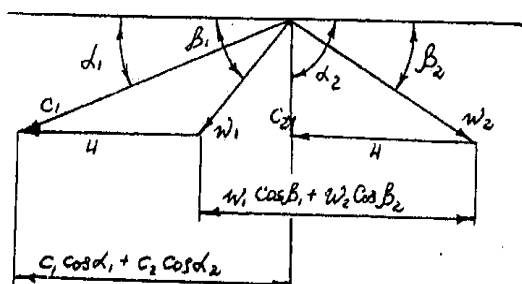
$$\omega_2 = \psi \cdot \omega_{2t} \quad (5)$$

ψ -işçi pilçäniň tizlik koeffisiýenti, İşçi pilçedäki energiýa ýitgisi

$$H_p = \omega_{2t}^2 / 2 - \omega_2^2 / 2 \quad (6)$$

2-nji çyzgydaky $H_0 = h_0 - h_{2t}$ statiki parametrlerde basgançagyň doly ýylylyk üýtgemesini görkezýär. H_{01} kesimi bolsa öz içine sopl girelgedäki tizlikli kinetik energiýasyny $C_0^2 / 2$ alýar, doly saklanma parametrleri bilen we basgançagyň soňundaky statiki basyş aralygyndaky doly ýylylyk üýtgemesini görkezýär. İşçi pilçeden soň akymyň kinetik energiýasy $C_0^2 / 2 = H_{0c}$ çykaryjy kamera barýar, ol ýerde energiýa işçi jisimiň temperaturasyny galdyrýar, izobariki akym saklanýar kamerada ΔH_{0c} ululyga basgançakdan çykýan tizlik bilen ýitýän ýitgi h -s diagrammada görkezilýär.

1-nji çyzgydaky işçi pilçelerine girýän we çykýan ýerlerindäki tizlikleriň üçburçlygy, turbina basançagy hasaplananda ýokarlaryny bir nokada birikdirýärler.



3-nji çyzgy. Turbina basgançagyndan bug akymynyň tizlik üçburçlygy.

Tizlik üçburçlyklaryny gurmak üçin C_1 tizlik wektoryna α_1 burçuny 11-den 20-250 aralyk alynýar. C_1 bahasyny (2) deňlemenden işçi pilçeleriň aýlanma tizligini aşakdaky formula bilen kesgitlenýär.

$$U = \Pi \cdot d \cdot n$$

d- basgançagyň orta diametr (m).

n-rotoryň aýlanma ýyglygy 1/s

Girelgede tizlik üçburçlyk geometriýasyndan otnositel tizlik ω_1 we β_1 burç hasaplanylýar. Çykalga tizlik üçburçlykdan C_2 we α_2 hasaplanylýar.

Turbina basgançagynda tizlik bilen burçuň arasyndaky gatnaşyk ýokary derejede basgançagyň reaktiwlik derejesine P bagly.

Basgançagyň reaktiwlik derejesi diýip işçi pilçeleriň doly ýylylyk üýtgemesiniň sopl we işçi pilçeleriň doly ýylylyk üýtgemesiniň jernine bolan gatnaşyga aýdylýar. (ýagny takmynan basgançagyň saklanma parametrlerinden doly ýylylyk üýtgemesine)

$$\overline{P^1} = H_{0p} / \overline{H_{0c}} + H_{0p} = H_{0p} / H_0 \quad (7)$$

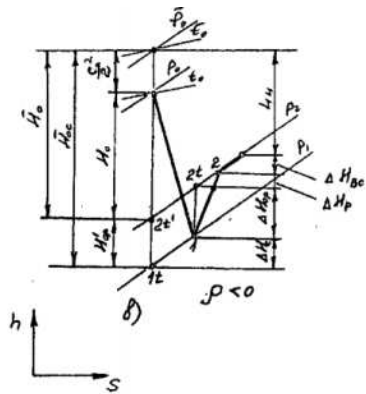
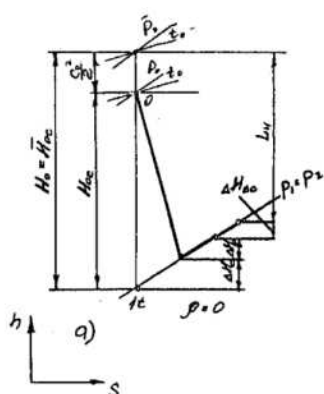
Reaktiwlik derejesi näçe uly bolsa şonçada akym işçi pilçeledre oňat tizlenýär. Şeýlelikde otnositel tizlik ω_{2t} çykalgada ulalýar ω_1 bilen deňşdireniňde.

Reaktiwlik derejesi nula deň bolan basgançaga aktiw basgançak diýilýär. Aktiw basgançakda işçi pilçede bugyň giňelmesi bolup geçmeýär, basyş işçi pilçäniň önünde we soňunda deň $P_1=P_2$.

Reaktiwlik derejesi 0,2 - 0,25 turbina basgançaklary hem aktiw tipe girýär. 0,4 - 0,6 we ondan uly bolsa reaktiw basgançak diýilýär. Köp basgançakly reaktiw turbinalarda reaktiwlik derejesi $P=0,5$.

Aktiw basgançaklary ($P=0$) praktikada ulanylýar. Real aktiw basgançaklaryň polozitel reaktiwligi bolýar, işçi pilçeleriň kanallarynda konfuzor akymyny döretmek üçin. Konfuzor akymy döredilse akymyň energiýa ýitgisi azalýar.

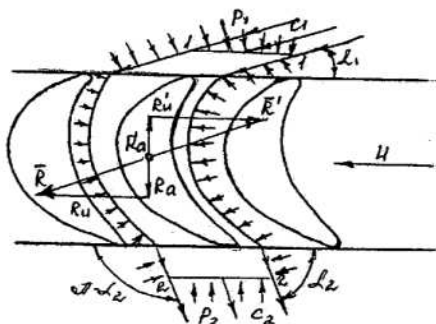
Käbir ýagdaýlarda reaktiwlik derejesi otnosatel basgançaklar hem ulanylýar. $P<0$ kanallarda diffuzor akymy döreýär, ýagny işçi pilçeleriň kanallarynda basyş ulalýar $P_2>P_1$. Şeýle ýagdaýda uly energiýa ýitgisi bolýar.



4-nji çyzgy. Giňelme
prosessi h-s
diagrammada
reaktiwlilik derejesi.

Işçi pilçelere täsir edýän güýç

Işçi pilçelere täsir edýän aerodinamiki güýç işçi jisimiň kanallarda öwrülmeği we tizlenmeği netijesinde bolýar. Bu güýçler özüniň tebigaty boýunça aerodinamiki diýilýär. Bularyň hasaplamasyny geçirmek üçin işçi pilçeledäki akyma seredeliň, şertli bir pilçäni öz içine alýar 1 -1,2-2-1 konturlar bilen. Hakykatda şu pilçe bilen basgançagyň hemme pilçelerine düşünmek bolar. (çyzgy 5.)



5-nji çyzgy. Turbina basgançagynda hereket mukdarynyň üýtgemedeňlemesiniň çykarylşyna.

Şu konturda sag we çep 1 -2 çyzyklary biri-birine kongurent we goňşy profilleriň üstünden deň uzaklykda ýerleşen. 1 -1 we 2-2 çyzyklary u' aýlanma tizligine parallel. Işçi jisimiň akymy böleginiň alynan kontura täsir edýän güýjüne seredeliň. Akym böleginde pilçe tarapyndan pilçäniň reaksiýa güýji täsir edýär R^I akymyň zyňlan bölegi tarapyndan 1-1,2-2, 1-2 üstlere basyş güýji täsir edýär. Basyş güýji 1-2 konturyň çep we sag üstlerinde bahasy boýunça deň we garşylyklaýyn ugrukdyrylan, şonuň üçin biri-birini deňleşdirýär. Mehanika kanunlarynyň esasynda bölünip alynan kontura täsir edýän akym böleginiň (güýç impulsy), şol konturdan akýan işçi jisimiň hereket mukdarynyň üýtgemegine deň. Şu kanuna degişli deňlemäni wektor formada aşakdaky ýaly ýazylýar.

$$R''dt + (P'_1 + P'_2)\Omega \cdot dt = dm(C'_1 - C'_2) \quad (8)$$

Şu deňlemedäki birinji çlen R'' pilçe tarapyndan akyma täsir edýän impuls güýji ikinji çlen $(1-1,2-2)$ q üste täsir edýän basyş güýjiniň impulsy, deňlemäniň sag tarapyndan 1-1 we 2-2 keaýlawerden dt wagtda akýan hereket mukdarynyň massasy görkezilen.

q -meýdany diýip işçi jisimiň aktiw akym hereketinde işçi pilçäni ýuwýan ýerine aýdylýar. Işçi tigiriň (koleso) hemme ýerinden işçi jisim berilende

$$\Omega = \pi \cdot d \cdot l_2$$

(8) deňlemäni u' aýlanma tizliginiň ugruna proyektirläp we $dm/dt=G$ bolýandygyny göz önünde tutup

$$R'_u = G[C_2 \cdot \cos(\pi - \alpha_2)C_1 \cdot \cos \alpha_1]$$

ýa-da pilçäniň reaksiýa güýjine täsir edýän güýji akymyň pilçe bilen çalyşyp $R_y = R'_y$, aýlanma güýjüni hasaplanylýan esasy deňlemäni tapýarys, işçi jisimiň akymynyň ugruna, ok tipli turbina basgançaklarynyň işçi pilçelerine täsir edýär.

$$R_u = G[C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2] \quad (9)$$

Aýlanma güýjüniň ugry R_u işçi pilçeleriň aýlanma tizligine ugurdaş. Şonuň üçin aýlanma güýji R_u akym bilen işçi pilçeledre şeýlede turbina rotorynda edilýän işi kesgitleýär.

(8) deňlemämizi rotoryň okunyň ugruna görä proyektirläp aşakdakyny alarys.

$$R'_a = G(C_2 \cdot \sin \alpha_2 - C_1 \cdot \sin \alpha_1) + (P_2 - P_1)\Omega$$

ýa-da pilçäniň reaksiýa güýjüni R'_a pilçe täsir edýän akym güýji R_a çalyşyp $R_a = -R'_a$ işçi jisim tarapyndan işçi pilçe täsir edýän ok güýjüniň esasy deňlemesini tapýarys.

$$R_a = G(C_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot C_1 \cdot \sin \alpha_1) + (P_2 \cdot P_1)\Omega \quad (10)$$

Şu ok güýjüni düzüjiler aýlanma tizlik wektoryna perpendikulýar gönükdirilen we şeýlelikde iş edýär. Yöne R_a güýji turbina rotorynyň opor podşipnikleriniň öz üstüne alýan ok güýçleri kesgitlenenende göz önünde tutulýar.

Basgançagyň kuwwaty. Udel iş

Basgançagyň işçi pilçeleriniň döredýän kuwwatlylygy aýlanma güýjüniň R_a , işçi pilçeleriniň aýlanma tizligine u köpeldip hasaplanyp bilner.

$$N_u = R_u \cdot U = G \cdot U(C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2) \quad (11)$$

Basgançagyň işçi pilçelerinden akyp geçýän işçi jisimiň 1 kg massasynyň peýdaly işi, udel iş basgançagyň kuwwatynyň işçi jisimiň mukdaryna bolan gatnaşyga aýdylýar.

$$L_u = N_u / G = u(C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2) \quad (12)$$

Tizlik üçburçlyklaryndan görnüyär, ýagny absolýut tizlikleriň aýlanma tizligiň ugruna proyektiniň jemine deň.

$$C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2 = \omega_1 \cdot \cos \beta_1 + \omega_2 \cdot \cos \beta_2$$

Bulardan başgada ýapgyt burçly üçburçlyklaryň formulalaryndan.

$$u \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1 = u^2 \cdot C_1^2 - \omega_1^2 / 2$$

$$u \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 = u^2 \cdot C_2^2 - \omega_2^2 / 2$$

Şu gatnaşyklary ulanyp (12) deňleme aşakdaky görnüşe gelýär.

$$L_y = u(\omega_1 \cdot \cos \beta_1 + \omega_2 \cdot \cos \beta_2) \quad (12a)$$

$$L_u = C_1^2 - C_2^2 + \omega_2^2 - \omega_1^2/2 \quad (13)$$

Ahyrky deňlemeden görünyär: Udel iş ok turbinada girelgedäki we çykalgadaky kinetik energiýanyň tapawudyna absolýut hereketde deň, otnositel hereketde bolsa işçi pilçelere çykalgadaky we girelgedäki kinetik energiýanyň tapawudyna deň.

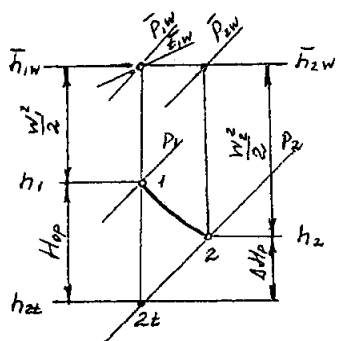
(13) deňlemäniň kömegi bilen otnositel hereket üçin energiýa deňlemesiniň dogrulygyny görkezip bolýar. Şu maksat üçin absolýut hereketde işçi pilçeleriň önündäki we soňundaky kesikde energiýa deňlemesini ýazýarys.

$$h_1 + C_1^2 = h_2 + C_2^2 / 2 + L_{12}$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky goşulyjy mehaniki iş, işçi pilçeledäki akymdan alynýan. Sopla pilçelerindäki energiýa deňlemesinde şu çlen ýok, ýagny sopladaky akymdan mehaniki iş alynmaýar. Soňky deňlemä (13) deňlemäni goýup özgerdilenden soň alýarys.

$$h_1 + \omega_1^2 / 2 = h_2 + \omega_2^2 / 2 = h'_1 \omega$$

ýagny otnositel hereketdäki işçi pilça girýän doly energiýa, çykalgadaky doly energiýa deň. Şu deňlemäniň otnositel hereketdäki doly energiýa h-s diagrammada oňat deňeşdirilýär.



6-njy çyzgy. Turbina basgançagyň işçi pilçesinde
akym prosessi h-s diagrammada.

Nokat 1 işçi pilçeden öňündäki işçi jisimiň ýagdaýyny görkezýär. $P_1 \omega$, $t_1 \omega$ - doly saklanmanyň parametri işçi pilçeleriň öňünde oňositel hereketde ýagny izoentrop saklanma akymyň ω_1 tizligi bilen alynan $t_1 \omega$ temperatura işçi pilçeleriň berkligini uly temperaturada işleýän gaz turbinalarda baha bermek üçin ulanylýar. İşçi pilçede soňky ýagdaýy 2 nokat häsiýetlendirýär, doly saklanma basyşy $P_2 \omega$ entalpiýasy $h_2 \omega = h_1 \omega$ (13) aňlatma udel iş üçin alynan hereketiň mukdar deňlemesinden. Udel işiň deňlemesini energiýanyň balans deňlemesinden hem tapyp bolar (işçi pilçeledräki). Teoretiki basgançakda işçi jisimiň bir kilogramynda doly energiýa diýip soplama işçi pilçelerdäki doly ýylylyk tapawutlara düşünilýär. Yagny,

$$E_0 = H'_{0c} + H_{0p} \approx H'_0 \quad (14)$$

Işçi pilçeledreky hakyky iş kiçi, energiýa ýitgisiniň barlygy üçin, soplada H_c , işçi pilçede H_p we basgançakdan çykyp gidýän C_2 tizlik bilen kinetik energiýa $C_2^2/2 = H_{bi}$.

Şeýlelikde işçi pilçede udel iş aşakdaky formula bilen kesgitlenip bilner:

$$L_u = E_0 - H_c - H_p - H_{bc} = H'_{0c} + H_{op} - H_c - H_p - H_{bc} \quad (15)$$

Şu formula: $H_{0c} = C_{1t}^2 / 2$ $H_{op} = \omega_{2t}^2 / 2 - \omega_1^2 / 2$

$$H_c = C_{1t}^2 / 2 - C_1^2 / 2 \quad H_p = \omega_{2t}^2 / 2 - \omega_2^2 / 2$$

goýup (13) deňlemä meňzeş alarys.

$$L_u = C_1^2 - C_2^2 + \omega_2^2 - \omega_1^2 / 2$$

Basgançagyň otnositel pilçe PTK-sy.

Turbina basgançaklarynyň kämilleşmegi PTK bilen häsiýetlendirilýär.

Turbina basgançagyň otnositel pilçe PTK diýip pilçedäki döredilen kuwwatyň basgançagyň doly kuwwatyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$\eta = N_u / N_o \quad (16)$$

Deňlemedäki kuwwatlyklary $N_u = L_u \cdot G$ we $N_o = E_0 \cdot G$ çalyşyp aşakdaky görnüşde ýazarys.

$$\eta_{0n} = L_u / E_0 \quad (17)$$

4 - udel iş (12) ýa-da (15) deňleme bilen kesgitlenip bilner.

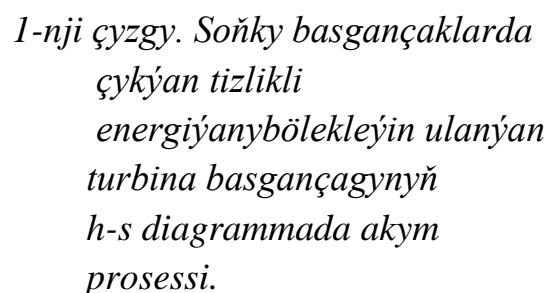
E_0 - basgançagyň doly energiýasy köp basgançaky turbinalarda basgançagyň ýerleşýän ýerine bagly. Eger-de basgançakdan soň uly kamera bar bolsa, onda basgançakdan çykýan tizlik energiýasy ulanylmaýar, soňky basgançaklarda $E_0 = H'_{0c}$. Aralykdaky basgançaklar üçin tizlik energiýasy soňky basgançaklarda ulanylýar. Şol basgançagyň doly energiýasy çykýan tizligiň umumy ýagdaýda basgançagyň doly energiýasy aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$E_0 = H'_{0c} - \chi\beta c C_2^2 / 2 \quad (18)$$

H'_{0c} -basgançagyň doly ýylylyk üýtgemesi saklanma parametrleri bilen.

$\chi\beta c C_2^2 / 2$ - basgançakdan çykýan tizlikli kinetik energiýanyň bölegi, soňky basgançakda ulanylýan kinetik energiýa.

$\chi\beta c = 0 - 1$ çenli üýtgeýär, basgançakdan soň uly kamera bolsa $\chi\beta c = 0$. Aralykdaky basgançaklarda çykýan tizlik energiýasy, soňundaky basgançakda doly ulanylyp bilner $\chi\beta c = 1$.


$$\eta_{0n} = U(C_1 \cdot \cos \alpha_1 + C_2 \cdot \cos \alpha_2) / E_0 = U(\omega_1 \cdot \cos \beta_1 + \omega_2 \cdot \cos \beta_2) / E_0 \quad (19)$$
$$\eta_{0n} = L_u / E_0 = E_0 - \Delta Hc - \Delta Hp - \Delta Hbc \cdot (1 - \chi\beta c) / E_0 \quad (20)$$
$$Hp = \omega_{\gamma}^2/2 - \omega_{\gamma}^2/2 = (1 - \psi^2) \cdot \omega_{\gamma}^2/2 = (1 - \psi^2) \cdot (Hop + \omega_1^2/2)$$
$$E_0 = H'_0 - \chi\beta c \cdot C_2^2/2 = H'_a + Hop - \chi\beta c \cdot C_2^2/2 = \\ = 1/2(C_{1t}^2 - \chi\beta c \cdot C_2^2 + \omega_{2t}^2 - \omega_1^2) \quad (21)$$

Basgançagyň otnositel PTK-sy haýsy faktoraiara bagly we kesgitleýji esasy ölçegsiz parametrlerine seredeliň. Munuň üçin (19) deňlemäni üýtgedip aktiw basgançakda seredeliň ($P=0$) hem-de basgançak üçin aşakdaky gatnaşyklary ulanallyň.

$$\omega_{2t} = \omega_1; \quad E_0 = H'_0 = C_{1t}^2 / 2 \text{ şeýlede } p = 0; \quad \chi\beta c = 0$$

$$\omega_1 \cdot \cos \beta_1 = C_1 \cdot \cos \alpha_1 - 4 \text{ (basgançagyň tizlik üçburçlygyndan).}$$

Başga fiksiw tizlik C_Φ diýen düşünje girizeliň, aşakdaky gatnaşykdan hasaplanylýan:

$$C_\Phi^2 / 2 = H'_0 \quad (22)$$

Aktiw basgançak üçin $p = 0$ $C_\Phi = C_{1t}$.

Agzalan gatnaşyklary (19) deňlemä goýup η_{op} PTK-syny aşakdaky ýaly özgerdip bolar.

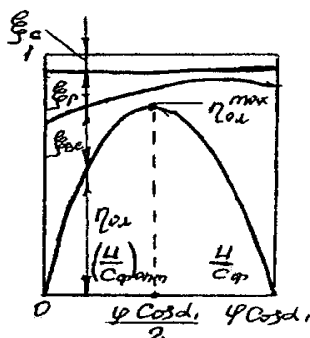
$$\begin{aligned} \eta_{op} &= 2u(\omega_1 \cdot \cos \beta_1 + \omega_2 \cdot \cos \beta_2) / C_\Phi^2 = \\ &= 2u \cdot \omega_1 \cdot \cos \beta_1 \cdot (1 + \omega_2 \cdot \cos \beta_2 / \omega_1 \cdot \cos \beta_1) C_\Phi^2 = \\ &= 2u(C_1 \cdot \cos \alpha_1 - 4)(1 + \omega_2 / \omega_1 \cdot \cos \beta_2 / \cos \beta_1) C_\Phi^2 \end{aligned}$$

Aktiw basgançakda $C_1 = \varphi C_{ut} = C_\Phi$ we $\omega_2 = \psi \omega_1$ gutarnykly alýarys.

$$\eta_{on} = 2 \cdot u / C_\Phi (\varphi \cdot \cos \alpha_1 - u / C_\Phi) (1 + \psi \cdot \cos \beta_2 / \cos \beta_1) \quad (23)$$

Şeýlelikde η_{on} PTK-sy aktiw basgançakda u/C_Φ gatnaşyga, tizlik koefFisiýentleri φ we ψ , α_1 β_2 - burçlara bagly. (23) deňlemä girýän β_1 burçy $\alpha_1 u / C_\Phi$ we φ ululyklaryň funksiýalarydyr we bagly bolmadyk parametrdir. Agzalan parametrleriň esasanam $u/C_\Phi \eta_{on}$ PTK uly täsir edýär, ýagny turbina rotoryň aýlanma ýygylgynyň üýtgeşme durmagynda aýlanma tizlik üýtgeýär ýa-da C_Φ tizligi, H_0 doly ýylylyk tapawudynyň üýtgemegi bilen üýtgeýär.

φ , ψ , $\alpha_1 \cos / \cos \beta_1$ belli fiksirlenen bahalarynda η_{on} PTK, u/C_Φ gatnaşyga baglylykda kwadratly parabola bolýar.



2-nji çyzgy. η_{on} PTK-synyň we ξ_c , ξ_p , ξ_{bc} energiýa

ýitgileriniň u/C_Φ tizlik gatnaşygyna baglylygy, reaktiwlik derejesi $p=0$ bolan basgançakda.

Parabola absissa akymy $u/C_\phi = 0$ we $u/C_\phi = \varphi \cos \alpha_1$ bahalarynda ýetýär, ýagny şu nokatlarda $\eta_{on} = 0$ PTK. η_{0p}^{maks} bahasyna tizlik gatnaşyklarynyň optimal bahasynda ýetilýär.

$$(u/C_\phi)_{opt} = \varphi \cdot \cos \alpha_1 / 2$$

η_{0p}^{maks} -bahasy aktiw basgançak üçin (23) deňlemä tizlik gatnaşygynyň $(u/C_\phi)_{opt}$ optimal bahasyny goýup tapyp bolar.

$$\eta_{op}^{maks} = \varphi^2 \cdot \cos^2 \alpha_1 / 2 \cdot (1 + \psi \cdot \cos \beta_2 / \cos \beta_1) \quad (24)$$

(24) deňlemeden görüňýär ýagny η_{0p}^{maks} bahasy aktiw basgançakda köp mukdarda soplanyň tizlik koeffisiýentden φ , az mukdarda işçi pilçäniň tizlik koeffisiýentinden ψ bagly. φ ýa-da ψ ulalmagy η_{0p}^{maks} -y ulaldýar. Şeýlelikde aktiw basgançakda esasy kämilleşdirmek soplada aeorodinamikasynyň we işçi pilçeleriň kämilleşdirilmegine bagly. 2-nji çyzgyda $\eta_{on} = f(u/C_\phi)$ paraboliki baglanşyk aktiw basgançagyň energiýa balansyny görkezýär. (20) deňlemeden basgançagyň energiýa balansyny görkezýän baglanşyk (dürli reaktiwlik derejeli) alyp bolýar.

$$\eta_{op} = 1 - \xi_c - \xi_p - (1 - \chi \beta_c) \cdot \xi_{bc} \quad (25)$$

bu ýerde $\xi_c = H_c / E_0$, $\xi_p = H_p / E_0$, $\xi_{bc} = H_{bc} / E_0$ basgançakda otnositel energiýa ýitgileri soplada, işçi pilçede we çykýan tizlik bilen.

Reaktiwlik derejesi $p=0$ basgançakda energiýa ýitgilerini tizlik u/C_ϕ gatnaşygyna baglylykda analiz bereliň.

Sopladaky otnositel energiýa ýitgisi aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner.

$$\xi_c = H_c / E_0 = C_{1r}^2 / 2 - C_1^2 / C_{1r}^2 = 1 - \varphi^2$$

Şeýlelikde $\varphi = \text{const}$ bolanda aktiw basgançakda otnositel energiýa ýitgisi soplada tizlik gatnaşygyna u/C_ϕ bagly bolmaýar. Şonuň üçin 1-nji çyzgyfdaky ξ_c hemişelik.

Işçi pilçe otnositel energiýa ýitgisi aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner.

$$\xi_p = H_p / E_0 = \omega_2^2 - \omega_1^2 / C_{1r}^2 = (\omega_1 / C_{1r}^2)^2 \cdot (1 - \varphi^2)$$

$$\text{G.K. } p=0 \quad \omega_{2r}^2 - \omega_1^2.$$

Eger-de $\varphi = \text{const}$ bolsa onda $\xi_p = f(u/C_\phi)$ baglanşyk doly ω_1 / C_{1r}^2 baglanşyk bilen kesgitlenilýär. Tizlik üçburçlygyndan görnüşi ýaly şu gatnaşyk ulalýar, u / C_ϕ kiçelmegi bilen.

Şeýlelikde otnositel energiýa ýitgisi ξ_p kiçelýär, u/ C_Φ ulalmagy bilen 0-dan $\beta_1=90^\circ$ deň bolýança otnositel hereketde. Mundan ulaltmak u/ C_Φ energiýa ýitgisiniň ulalmagyna getirýär.

Çykýan tizlik bilen otnositel energiýa ýitgisi aşakdaky ýaly kesgitlenip bilner.

$$\xi_{bc} = C_2^2 / C_1^2$$

tizlik üçburçlygyna seredip dürli u/ C_Φ , ξ_{bc} -koeffisiýentiniň minimai bahasy $\alpha = 90^\circ$ bolanda ýetilýär, şu ýagdaýda C_2^2/C_1^2 bahasy örän kiçi $\alpha_2 = 90^\circ$ -dan kiçelse ýa-da ulalsa ξ_{bc} ulalýar. (çyzgy 2.)

Çykýan tizlik energiýa ýitgisiniň minimai bahasy (u/ C_Φ)_{opt} tizlik gatnaşygynyň optimal bahasyna golaýlanda bolýar, u/ C_Φ optimal bolanda C_2 tizlik wektoryň burçy α_2 birnäçe gradus $\alpha_2=90^\circ$ uly ($\alpha_2>90^\circ$).

$\eta_{ol}= f/(u/C_\Phi)$ baglylygy we başgada birnäçe faktorlara deň ýerleşen basgançaklara ($\chi_{bs} = 0$ we $E_0=C_\Phi^2/2$) dürli reaktiwlik derejede (19) deňlemeden tapylýp bilner.

(19) deňlemä $\eta_{ol} = 2u(C_1 \cos \alpha_1 + \omega_2 \cos \beta_2 - u)/C_f$ tizlikleriň bahasyny goýup

$$C_1 = \varphi \sqrt{2H_{os}} = \varphi \sqrt{2(1-p)}H_o = \varphi \sqrt{1-p}C_f \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \omega_1^2 &= C_1^2 + u^2 - 2uC_1 \cos \alpha_1 = \\ &= \varphi^2(1-p)C_\Phi^2 + u^2 - 2u\varphi \cdot (\cos \alpha_1) \sqrt{1-p}C_f \quad (26a) \end{aligned}$$

$$\omega_2 = \psi \sqrt{2H_{op} + \omega_1^2} = \psi \sqrt{2\rho H_o + \omega^2} = \psi \sqrt{\rho C_\Phi^2 + \omega_1^2} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \text{onda alarys } \eta_{ol} &= 2u/C_\Phi \left[\varphi \cos \alpha_1 \sqrt{1-p} - u/C_\Phi + \psi \cos \beta_2 \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \sqrt{\varphi^2(1-p) + (u/C_\Phi)^2 - 2(u/C_\Phi)\varphi \cos \alpha_1 \sqrt{1-p} + \rho} \right] \quad (28) \end{aligned}$$

Alnan formula basgançagyň pilçe basgançakdaky PTK-ň dürli reaktiwlik derejede aktiw basgançakdaky ýaly u/ C_Φ , $\varphi, \psi, \beta_2, \alpha_2$ bagly wetäze reaktiwlik derejesi goşulýar. η_{op} PTK-ň maksimal bahasy tizlik gatnaşyklarynyň (u/ C_Φ)_{opt} optimal bahasynda ýetilýär, olam öz gezeginde reaktiwlik derejä ρ, α_1 burça φ we çykýan tizlikli energiýa ýitgisiniň minimai bahasynda ýagny η_{op} PTK maksimal bahasy basgançagyň iş rezimi $\alpha_2=90^\circ$ bolanda.

Şu şerti ulanyp tizlik gatnaşyklarynyň optimal bahasyny reaktiwlik derejesine we α_1 burça baglylykda işçi pilçeden çykandaky $\alpha_2=90^\circ$ bolanda $C_2^2 = \omega_2^2 - u^2$.

(26) we (27) deňlemeleri peýdalanyp alarys.

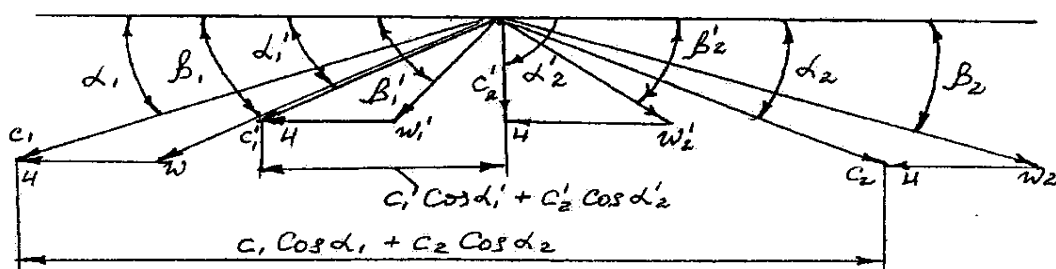
Bu ýitgini azaltmak üçin pilçeledren soň (u/ C_ϕ kiçi bahasynda) gönükdiriji pilçeler goýulýar, olar köpelmegi bilen işçi pilçeden çykýan bug aýýlanyp gerekli burç bilen ikinji hatara gönükdirilen. İşçi pilçeleriň ikinji hatarynda goşmaça birinji hatardan çykýan kinetik energiýanyň rotorda mehaniki energiýa öwrülýär. Şeýlelikde bir soplа pilçelerinde iki hatar işçi pilçeler we bir hatar gozganmaýan gönükdiriji pilçe goýulan basgançaklara iki wenaly basgançak diýilýär. (çyzgy 1.)

Gönükdiriji pilçeleriň, soplа pilçelerinden aýratynlygy diňe akymyň ugruny üýtgetýär we ýylylyk tapawudy ummasyz üýtgemeýär. Şonuň üçin gönükdiriji pilçeleriň profili işçi pilçeleriň profilen meňzeş. Şeýlelikde gönükdiriji pilçeleriň ugurlary çykýan tizlik C_{2t} wektorynyň ugruna gabat gelmeli.

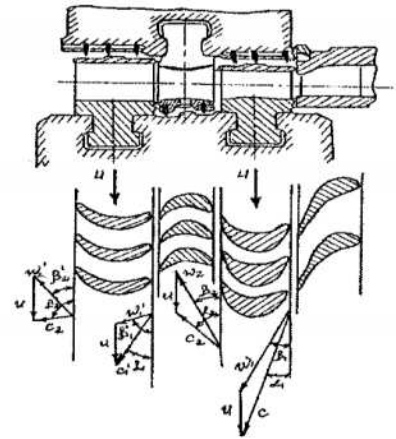
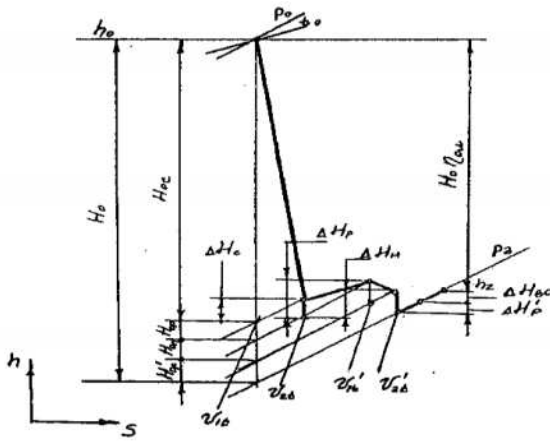
Iki wenaly basgançaklarda parametrleriň belgilenşi, birinji hatardaky soplа we işçi pilçeleriniň parametri bilen wenaly basgançakalryňka meňzeş, ikinji hatardaky gönükdiriji we işçi pilçeledäki parametrler ştrihli belgilenýär. (çyzgy 1.)

Tizlik üçburçluklarynyň bir polýusy edil bir wenaly basgançakaryňky ýaly gurulýar. (çyzgy 2.) $\beta_2, \alpha'_1, \beta'_2$ burçlary üznüksizlik deňlemelerinden hasaplanylýar. Gönükdiriji pilçeledre çykýan akymyň burçy $\alpha'_1 = \alpha_2 - (5-10^\circ)$ ikinji hataryň işçi pilçelerinden çykýan akymyň burçy $\beta'_2 = \beta_1 - (5-30^\circ)$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \varphi \sqrt{2\bar{H}_{oc}} \\ \omega_2 &= \varphi \sqrt{2H_{op} + \omega_1^2} \\ C'_1 &= \psi_H \sqrt{2H_{oh} + C_2^2} \\ \omega'_2 &= \psi' \sqrt{2H_{op} + (\omega'_1)^2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \varphi, \psi, \psi_H, \psi' &- \text{tizük koeffisiýentleri} \\ \bar{H}_{oc}, H_{op} &- 1\text{-nji hataryň ýylylyk} \\ H_{oh}, H'_{op} &- 2\text{-nji hataryň gönükdiriji} \end{aligned}$$



2-nji çyzgy. Iki wenaly basgançagyň tizlik üçburçlygy.



2-nji çyzgy. Iki wenaly basgançak üçin h - s diagrammada giňelme prosessi.

Pilçeleriň reaktiwlik derejeleri:

$\rho = H_{op}/H$ - birinji hataryň işçi pilçeleriniň reaktiwlik derejeleri.

$\rho_H = H_{OH}/H_0$ - gönükdiriji pilçeleriň reaktiwlik derejesi.

$\rho = H_{op}/\bar{H}_0$ - ikinji hataryň işçi pilçeleriniň reaktiwlik derejesi.

Reaktiwlik derejesiniň bahasy uly däl 0,02-0,06 gönükdiriji we işçi pilçeledre konfuzor akymyny döredip, energiýa ýitgilerini azaltmak üçin ulanmak mümkin. Reaktiwlik derejesini ulanyp (1) formulamyň aşakdaky görnüşe eýe bolýar.

$$\begin{aligned} C_1 &= \varphi \sqrt{2\bar{H}_0(1-\rho-\rho_H-\rho')} \\ \omega_2 &= \psi \sqrt{2\bar{H}_0\rho + \omega_1^2} \\ C'_1 &= \psi_H \sqrt{2\bar{H}_0\rho_H + C_2^2} \\ \omega'_2 &= \psi' \sqrt{2\bar{H}_0\rho' + (\omega'_1)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Birinji hataryň işçi pilçelerine täsir edýän güýç aýlanma ugruna görä.

$$R_u'' = G(C_1 \cos \alpha_1 + C_2 \cos \alpha_2) \quad (3)$$

we ikinji hataryň işçi pilçelerine

$$R_u'' = G(C'_1 \cos \alpha'_1 + C'_2 \cos \alpha'_2) \quad (4)$$

birinji hataryň işçi pilçelerinde bugyň udel işi

$$L_u'' = u(C_1 \cos \alpha_1 + C_2 \cos \alpha_2) \quad (5)$$

ikinci hataryň işçi pilçelerinde bugyň udel işi

$$L_u'' = u(C'_1 \cos \alpha'_1 + C'_2 \cos \alpha'_2) \quad (6)$$

Iki wenaly basgançagyň hemme pilçelerinde bugyň udel işi

$$L_u = u(C_1 \cos \alpha_1 + C_2 \cos \alpha_2 + C'_1 \cos \alpha'_1 + C'_2 \cos \alpha'_2) = \\ = u(\omega_1 \cos \beta_1 + \omega_2 \cos \beta_2 + \omega'_1 \cos \beta'_1 + \omega'_2 \cos \beta'_2) \quad (7)$$

Iki wenaly basgançagyň otnositel pilçe PTK-sy 1 kg massaly işçi jisimiň işçi pilçelerindäki işiň doly energiýa bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$\eta_{ol} = \frac{L_u}{E_0} = \frac{u \sum C_u}{E_0} = \frac{u \sum \omega_u}{E_0} \quad (8)$$

(7) deňlemedäki peýdaly iş tizlik üçburçlygyndan alnan ýöne basgançagyň energiýa balansyndanam tapyp bolýar. Munuň üçin basgançagyň doly energiýasyndan E_0 , sopl a we işçi pilçeledäki akymyň energiýa ýitgilerini aýyrmaly. Bir wenaly basgançaklardaky ýaly meňzeşlikde aşakdaky formulalar bilen kesgitlenilýär.

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_c &= (1 - \varphi^2) \frac{C_{1c}^2}{2} = (1 - \varphi^2) \overline{H}_{oc} \\ \Delta H_p &= (1 - \psi^2) \frac{\omega_{2l}^2}{2} = (1 - \psi^2) \left(H_{op} + \frac{\omega_1^2}{2} \right) \\ \Delta H_H &= (1 - \psi_H^2) \frac{(C'_{1H})^2}{2} = (1 - \psi_H^2) \left(H_{OH} + \frac{C_2^2}{2} \right) \\ \Delta H'_p &= [1 - (\psi')^2] \frac{(\omega'_{2l})^2}{2} = [1 - (\psi')^2] [H'_{op} + (\omega'_1)^2] \\ \Delta H_{BC} &= (C'_2)^2 / 2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Şeýlelikde basgançakdaky peýdaly iş:

$$L_u = E_0 - \Delta H_c - \Delta H_p - \Delta H_H - \Delta H'_p - (1 - \chi_{BC}) \Delta H_{BC} \quad (10)$$

Şu ýagdaýda otnositel pilçe PTK aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$\eta_{ol} = L_u / E_0 = 1 - \xi_c - \xi_l - \xi_H - \xi'_l (1 - \chi_{BC}) (1 - \chi_{BC}) \xi_{BC} \quad (11)$$

Iki wenaly basgançaklarda η_{ol} -iň tizlik gatnaşyklaryndan u/ C_Φ baglanşyk häsiýeti edil bir wenaly basgançaklaryňky ýaly, energiýa ýitgi kanunlarynyň üýtgemegi bilen hasaplanylýar.

$$\xi_c = \Delta H_c / E_0; \quad \xi_l = \Delta H_l / E_0; \quad \xi_H = \Delta H_H / E_0; \quad \xi'_l = \Delta H'_p / E_0$$

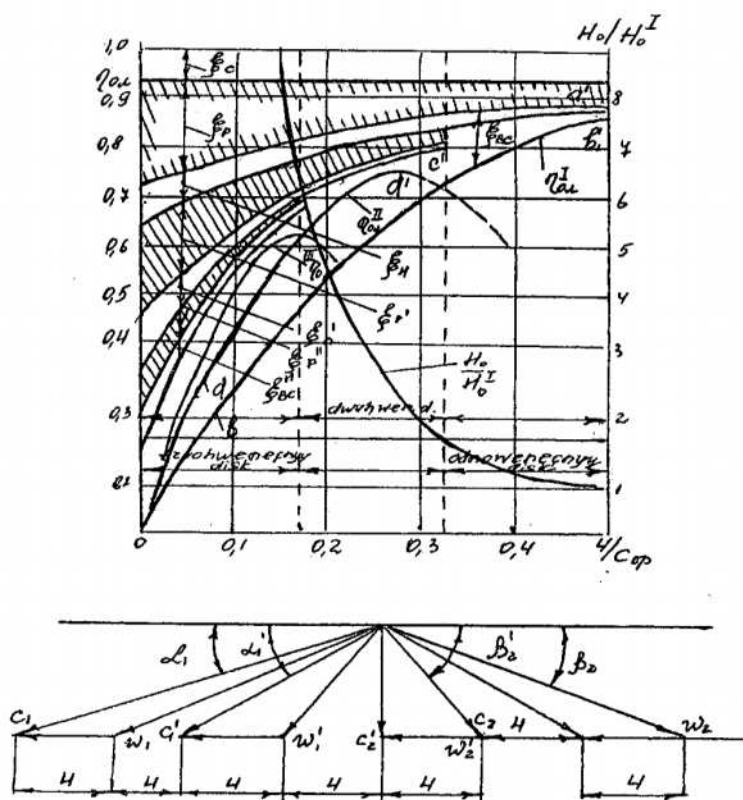
$$\text{Çykýan tizlik bilen} \quad \xi_{BC} = (C'_2)^2 / 2$$

Sopla pilçelerinde ýitgi koýeffisiýenti u/C^\wedge tizlik gatnaşygyna bagly bolmaýar, ýagny hemişelik galýar.

Energiýa ýitgi koeffisiýentleri işçi pilçede kiçelýär, u/ C_Φ gatnaşygyň ulalmagy bilen 0-dan (u/C_Φ)_{opt} bahasyndanam ýokary baha çenli (çyzgy 3.A) η_{ol}^{maks} - PTK maksimumyna ýetende.

$(u/C_\Phi)_{opt}$ bahasy kök derejede çykýan tizlik ýitgisiniň u/C_Φ gatnaşyga baglanşygynyň häsiýetleri bilen tapylýar. Çykýan tizlik ýitgi koeffisiýentiniň minimai bahasyna $(u/C_\Phi)_{opt}$ gatnaşygyň golaýynda ýetilýär. Şu ýagdaýda çykýan tizlik wektorynyň burçy $\alpha'_1 = 90^\circ$ (akymyň çykýan burçy) tizlik üçburçlygyna seredeliň. Tizlikleriň ok proyeksiýalary hemme üçburçlykdan birmeňzeş ýagny (çyzgy 3 .B). Şu ýagdaýda tizlik wektorlarynyň sany ýakyn üçburçlyklar arasy u aýlanma tizligine deň we tizlik üçburçlyklaryndan deň, bu ýerden optimal tizlik gatnaşyklarynyň deňlemesini almak bolýar.

$$\left(\frac{u}{C_1}\right)_{opt} = \frac{\cos \alpha_1}{4}; \quad \left(\frac{u}{C_\Phi}\right)_{opt} = \left(\frac{u}{C_{1t}}\right)_{opt} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{4} \quad (12)$$



3-nji çyzgy. A) Bir, iki, üç wenaly basgançaklaryň η_{ol} -iň energiýa ýitgilerine baglanşygy. B) Tizlik üçburçlygy iki wenaly basgançakda optimal tizlik gatnaşygyny hasaplamak üçin.

Meňzeşlikde optimal tizlik gatnaşygy üç wenaly basgançakda $p=0$ deň bolanda alýarys.

$$\left(\frac{u}{C_\Phi}\right)_{opt} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{6} \quad (13)$$

$$\left(\frac{u}{C_{\Phi}} \right)_{opt} = \frac{\varphi \cos \alpha_1}{2m} \quad (14)$$

m wenaly basgançakda

Şeýlelikde iki wenaly basgançagyň tizlikleriň optimal gatnaşygy bir wenaly basgançakdan iki esse kiçi, üç wenaly basgançagyňky 3 esse. Şeýlelikde köp basgançaklary ularanaklyk berlen aýlanma tizliginde uly ýylylyk tapawudyny almaklyga getirýär. Iki wenaly basgançagyň doly ýylylyk tapawudy bir wenaly basgançagyňkydan 4 esse ýokary.

$$\frac{H_o^{II}}{H_o^I} = \frac{(C_{op})_{II}^2}{(C_{op})_I^2} \left[\frac{u}{(u/C_{\Phi})_{II}} \right]^2 : \left[\frac{u}{(u/C_{\Phi})_I} \right]^2 \approx \left(\frac{0,5}{0,25} \right)^2 \approx 4$$

Üç wenaly basgançakda doly ýylylyk tapawudy bir wenaly basgançagyňkydan 9 esse uly.

$$\frac{H_o^{III}}{H_o^I} = \left(\frac{0,5}{0,17} \right)^2 \approx 9$$

Köp wenaly basgançagyň η_{ol} -iň ulalmagy bir wenaly basgançak bilen deňeşdireniňde kiçi tizlik.

u/ C_{Φ} gatnaşyklarynda çykýan tizlik kinetik energiýasyny peýdalanyp ýetilýär.

Iki wenaly basgançakda birinji wenadan çykýan tizligi, üç wenaly basgançaklarda ikinji wenadan çykýan tizlik kinetik energiýasyny peýdalanylýar.

4-nji çyzgydan görnüşi ýaly bir wenaly basgançagy tizlik gatnaşygy $u/C_{\Phi} > 3$ bolanda ulanmak maksada laýyk.

Iki wenaly basgançaklardaky PTK bir wenaly basgançaklaryň maksimal PTK-syndan aşakdaky sebäpler boýunça kiçi.

1) Birinji hataryň işçi pilçelerinde energiýaýitgiler w we w_2 tizlikleriň ulalmagy bilen ulalýar.

2) Goşmaça gönükdiriji we işçi pilçeledre iki wenaly basgançakda köp wenaly basgançakda beýleki pilçeleriň energiýasyna goşulýar. Şonuň üçin köp wenaly basgançaklar sazlaýjy basgançaklar hökmünde ulanylýar. Olarda ýokary ýylylyk tapawudy täzeden işlenilýär. Haçanda arzan ýa-da az metal sarp edýän turbina gerek bolan ýagdaýynda ulanylýar.

Köp wenaly basgançak taýýarlanylanda işçi we gönükdiriji pilçeleriň aerodinamiki häsiýetlerini gowulandyrmak üçin işçi we gönükdiriji wenalar reaktiwlik derejesi girizilýär nemde konfuzor akymy döredilýär. Ýokary reaktiwlik derejesini girizmek maslahat berilmeýär, basgançak tizlikleri olar işçi jisimiň berilmegi bilen işleýär, hemme töwereginde işleýän işçi pilçelere bölekleyin bug bermek üçin ýasalýar. Şonda ýokary reaktiwlik derejesi işçi jisimi duganyň ahyrynda çykmagyna getirýär. Köplenç reaktiwlik derejesi iki wenaly

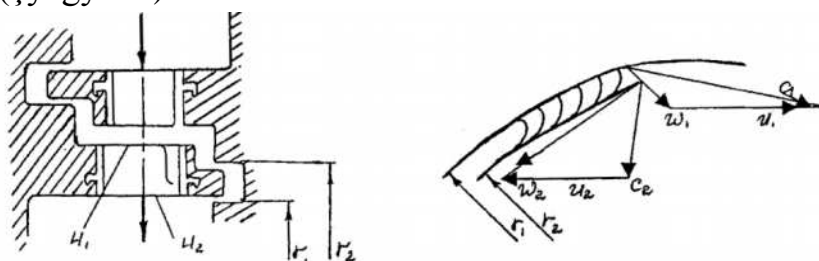
basgançaklarda umumylykda 10-12% uly bolmadyk reaktiwlik dereje iki wenaly basgançaklaryň PTK-syny ýokarlandyrýar şeýle hem birlikde optimal tizlik gatnaşygyny (u/C_ϕ)_{opt} 0,23-den 0,30-a çenli ulaldýar arassa aktiw basgançaklarda (umumy reaktiwlik derej esi 12-15% bolanda).

Radial we radial okly basgançaklar.

Bug we gaz turbinalarynyň giňden ýaýran görnüşi okly basgançaklardan başga radial we radial okly turbinalar hem ulanylýar. Radial basgançakda işçi jisimleriň akym çyzygy giňişlikde ýaýraýar. Turbinanyň rotorynyň okuna perpendikulýar. (çyzgy 1.)

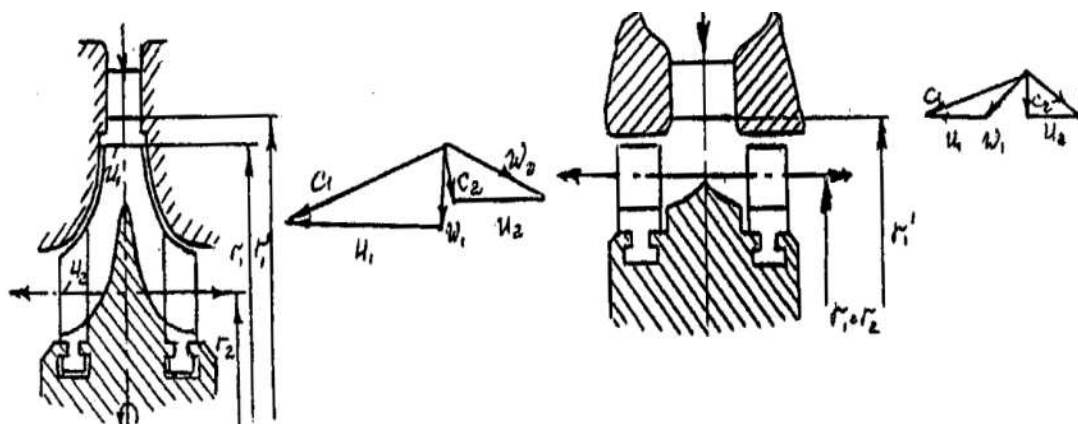
Eger-de işçi jisim turbinanyň okundan töweregine ýaýraýanbolsa, onda radiai basgançaga merkezden gaçma diýilýär. Eger-de töwereginden okuna tarap bolsa merkeze ymtylma diýilýär.

Radial ok basgançagynda akym loplo pilçelerinde töwereginden turbinanyň okuna tarap gönükdirilen, soňra akym işçi pilçeledre turbinanyň okunyň ugruna gönükdirilen. (çyzgy 2a.)



1-nji çyzgy. Radial basgançak.

Radial ok basgançaklar bir akymly we iki akymly bolup biler. Iki akymly silindrlerde ulanylyp bilner. (PBS we OBS). Radial ok basgançaklaryň işçi pilçelerini dürli wariantlarda ýasaýarlar. Meselem: radial bölegi uzaldylan, radial plastina görnüşinde we azajyk ok bölegi uzaldylan. Olaryň işçi pilçeleri ok basgançaklarynyňkameňzeş. Haçandaradial bölegi ýokmahaiynda işçi pilçeleri ok görnüşli, akym radial görnüşden ok görnüşe aýlanmagy pilçesyz aýlanýan kamerasynda bolýar. (çyzgy 2b.)



2-nji çyzgy. Radial ok basgançagy, radialplastinaly (a), aýlanýan kameraly we şonsuz(b).

Hasaplama üçin işçi jisimiň energiýasyny üýtgedip rotory aýlap mehaniki energiýa alynmagyna radial we radial okly basgançaklarda radial basgançagyň meselesinde seredeliň. Şu hasaplamany dürli tipli basgançaklar üçin ulanyp bolar.

Hereket mukdarynyň momentler teoremany esasynda işçi pilçeledre täsir edýän akymyň döredýän momenti işçi pilçe girelgedäki we çykalgadaky akymyň hereket mukdarynyň momentiniň üýtgemesine deň.

$$M = G(r_1 C_{1u} - r_2 C_{2u})$$

r_1, r_2 - işçi pilçelere girýän we çykýan akym kesiginiň radiusy.

C_{1u}, C_{2u} - absolýut tizlikleriň u aýlanma tizligine proyeksiýasy tizlik üçburçlygyndan hasaplanylýar. $C_{1u} = C_1 \cos \alpha_1$; $C_{2u} = C_2 \cos \alpha_2$. Basgançagyň pilçelerinde akym bilen döredilýän kuwwatlyk momentiniň rotoryň burç tizligine köpeldilmek bilen tapylýar.

$$N_u = M\omega = G(u_1 C_1 \cos \alpha_1 + u_2 C_2 \cos \alpha_2)$$

Basgançagyň pilçelerinde döredýän udel iş:

$$L_u = N_u / G = u_1 C_1 \cos \alpha_1 + u_2 C_2 \cos \alpha_2$$

Bu gatnaşygyň sag tarapyna tizlik üçburçlygyny peýdalanyp üýtgedip alýarys:

$$L_u = 0,5(C_1^2 - C_2^2 + \omega_2^2 - \omega_1^2 + u_2^2 - u_1^2) \quad (1)$$

Işçi pilçäniň kanallarynda işçi jisimiň akymy üçin energiýa deňlemesi:

$$C_1^2 / 2 + h_1 = C_2^2 / 2 + h_2 + L_u \quad (2)$$

(2) deňlemäniň sag bölegine (1) deňlemäni goýup alarys.

$$h_1 + \omega_1^2 / 2 = h_2 + \omega_2^2 / 2 - 0,5(u_2^2 - u_1^2) \quad (3)$$

(3) deňlemä işçi pilçäniň kanallarynda otnositel hereketde akymyň energiýa deňlemesi hökümde seredip bolýar: otnositel hereketde kanalyň girelgesindäki akymyň potensial we kinetik energiýasynyň jemi minus akym bilen merkezden

gaçma güýçleri ýenmek üçin sarp edilen energiýa deň. Izoentrop akymy üçin energiýa deňlemesi:

$$h_1 + \omega_1^2 / 2 = h_{2t} + \omega_{2t}^2 / 2 - 0,5(u_2^2 - u_1^2) \quad (4)$$

(4) deňlemeden teoretiki otnositel tizlik işçi pilçeden çykalgada

$$\omega_{2t} = \sqrt{2(h_1 - h_{2t}) + \omega_1^2 + (u_2^2 - u_1^2)} \quad (5)$$

niredede: $h_1 - h_{2t} = H_{op}$ işçi pilçeledre doly ýylylyk tapawudy.

Hakyky otnositel tizlik ok tipli basgançaklaryňky ýaly kesgitlenilýär.

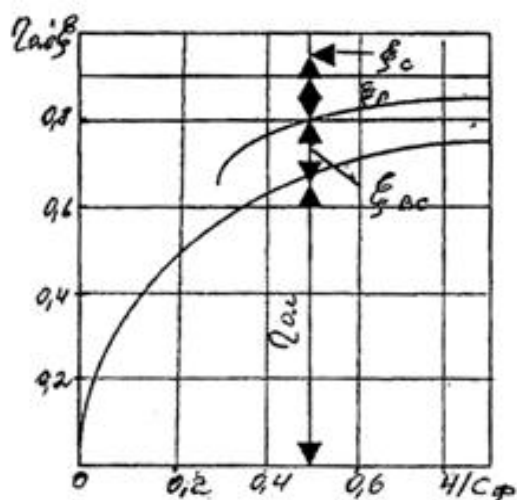
Radial we radial ok tipli basgançaklaryň reaktiwlik derejesi:

$$P = H_{op} / H_o = (\omega_{2t} - \omega_1^2) - (u_2^2 - u_1^2) / C_\Phi^2 \quad (6)$$

Şu formuladan görnüşi ýaly merkeze ymtylma radial we radial okly basgançaklarda $(u_1 - u_2)$ $\omega_{2t} - \omega_1$ bolanda reaktiwlik derejesi polozitel. ($p > 0$). Şu şertde ok tipli basgançaklarda $(u_1 = u_2)$ reaktiwlik derejesi nula deň. Şeýlelikde radial we radial okly basgançaklarda işçi pilçeleriň doly ýylylyk tapawudy merkezden gaçma güýç meýdany bilen şertlendirilen. Şu ýylylyk tapawudy $u_1^2/2 - u_2^2/2$ deň.

Radial we radial okly basgançaklaryň otnositel pilçe PTK-sy aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$\eta_{ol} = L_u / E_0 = 2(u_1 C_1 \cos \alpha_1 + u_2 C_2 \cos \alpha_2) / C_\Phi^2 \chi_{BC} C_2^2 \quad (7)$$



3-nji çyzgy. Radial okly basgançakda otnositel pilçe PTK-nyň u / C_Φ gatnaşyga baglanşygy.

3-nji çyzgyda radial okly basgançagyň rotoryň pilçe aparatynyň girelgesinde proyeksiýalary iki akymly tipiniň η_{ol} -iň u / C_Φ tizlik gatnaşygyna baglanşygy görkezilen. Şu basgançakda u / C_Φ optimal gatnaşyga täsir edýän gidýän energiýa ýitgisinden başga-da işçi pilçeledreky energiýa ýitgileri uly täsir edýär $\beta_1 \approx 90^\circ$ bolanda u / C_Φ gatnaşyk minimai. Radial plastinaly işçi pilçe

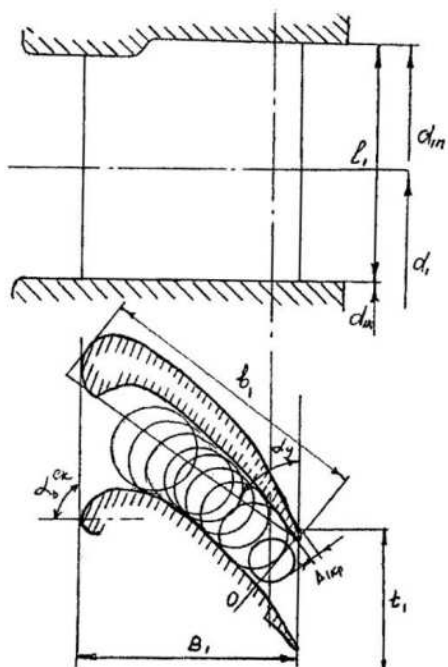
girelgedäki radial okly basgançakda (u/C_ϕ)_{opt} = 0,65 - 0,75, reaktiwlik derejesi $p=0,45-0,50$ bolanda.

Turbina basgançakdaky gözenekleriň geometriki we gazodinamiki häsiýetleri

Turbina basgançaklary sopl (gönükdiriji) we işçi gözeneklere bölünýär.

Sopla (gönükdiriji) gözenek - bu turbina statorynda berkidilen turbina basgançagyň gozganmaýan (gönükdiriji) pilçeler köplüğine aýdylýar.

Işçi gözenek - bu turbinanyň rotoryna berkidilen basgançagyň gozganýan işçi pilçeleri birmeňzeş formasynyň profili boýunça we biri-birinden deň aralykda ýerleşen. Meňzeşlikde hemme işçi pilçeler hem biri-birinden deň aralykda ýerleşen we birmeňzeş profilli.



*1-nji çyzgy. Sopla gözeneginiň geometriki
häsiýetleri.*

Bu ýerde meridional kesik we basgançagyň orta diametrine görä silindrik kesik görkezilen.

Energiýa ýitgileri we gözenegiň beýleki häsiýetleri goňşy pilçeleriň arasyndaky formaïara bagly. Şonuň üçin gözenegiň esasy geometriki häsiýeti diýip gözenegiň tipi we profiliniň formasy hasap edlýär. 1-nji çyzgyda kanaly inçelip gidýän gözenek degişli profil formasy bilen görkezilen, deňesinde kiçi tizlikli akymlarda ulanylýar.

Sopla gözeneginiň köp ulanylýan geometiki häsiýetlerine seredeliň. Gözenek ädimi t_j -goňşy profilleriniň arasyndaky uzynlyk profilleriň meňzeş nokatlarynyň arasyndaky kesim bilen ölçenilýär.

Bokurdagy OX gözenekden çykalgadaky kanalyň minimai ölçegi çykalgadaky kanal tegeleginiň diametri bilen ölçenilýär.

Peýdaly çykalga burçy α - arcsin — şU geometrik parametr köp derejede gözenekden soňra akymyň ugruny kesgitleýär.

Profiliň hordasy Pl gözenegiň öňüne perpendikulýar aralyk. Gözenegiň öňi diýip işçi pilçeleriň aýlanmatizligine parallel çyzyga aýdylýar.

Gözenekde profiliň berkidilme burçy α ugurlaryň arasyndaky burç, aýlanma tizligiň ugruna ters we profiliň girelge we çykalgalaryna galtaşýar. Gözenegiň berkidilme burçuna uly bolmadyk çäklerde üýtgedip, gözenek formalaşdyrylanda peýdaly çykalga burçunyň ale dürli bahalaryny alyp bolýar.

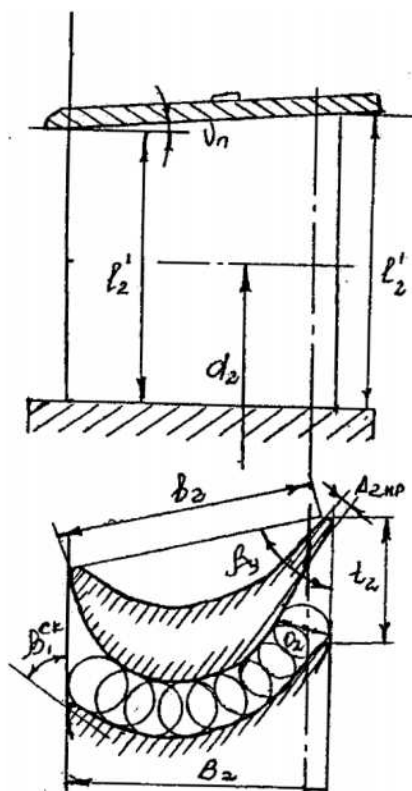
Pilçe çykalga gyrasynyň galyňlygy Au , profiliň çykalga gyrasynyň diametri. Pilçe beýikligi (uzynlygy) gözenekden çykalgada 1 gözenekden çykalgadaky kanalyň ölçegi, basgançagyň radiusy bilen ölçenilýär.

Gözenegiň ortaça diametri d_l pilçäniň beýikligini iki bölýän nokadynyň üstünden geçýän töwerek diametri.

Parsial derejesi e - soplanyň dugasynyň uzynlygynyň L , gözenegiň orta diametrine görä töwerek uzynlygyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.

$$e = L / \pi d_l \quad (1)$$

Sopla gözeneginiň geometriki hasaplanşy işçi gözenekler üçin hem degişli.



2-nji çyzgy. İşçi gözenegiň geometriki häsiýetleri. Ikinji çyzgydaky işçi gözenegiň geometrik häsiýetleri aşakdaky belgilerden ybarat: t_2 , 0_2 , aktiw tipli gözenegiň profili görkezilen. Reaktiw basgançagyň işçi gözenekleriniň profili konfigurasiýasy boýunça sopla profillerine meňzeş.

Gözenek profilleriniň agzalan häsiýetlerinden başga-da profiliň çykalga gyrasyndaky sklet burçy (α_{0sk} , β_{1sk}) diýen düşünje ulanylýar. 0_1 gözenege girelgedäki profiliň orta çyzygyna galtaşma bilen, aýlanma tizliginiň ugrunyň arasyndaky burça deň. Profiliň orta çyzygy diýip profiliň gyalarynda deň

uzynlykdaky çyzyga aýdylýar. Sopla we reaktiw işçi pilçeleriň sklet burçlary α_{0sk} , β_{1sk} köplenç 90° -a deň, aktiw gözeneklerde β_{1sk} 90° -dan birnäçe esse kiçi. Absolýut geometriki başga otnositel geometriki häsiýetleri hem ulanylýar. Otnositel ädim $t^1=t/b$: otnositel beýiklik $l^1=l/b$ otnositel çykalga gyrasynyň galyňlygy $\Delta_{1kr}^1 = \Delta_{1kr}/0$.

Ýaýrawlygy $\frac{1}{\theta} = 1/d$ we başgalar.

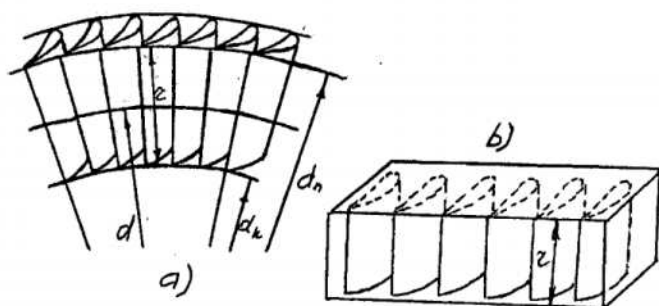
Otnositel geometriki parametrler meňzeş gözenekleri, absolýut geometiki ölçegleri toparlamaga mümkinçilik berýär. Meselem: sopla gözenekleriniň profili dürli hordaly b_1 , ýöne şu gözeneklerde geometriki meňzeş profili ulanylan we birmeňzeş ölçegsiz parametrleri $t' = \text{const}$, $l' = \text{const}$, $\theta_1 = \text{const}$ we ş.m.

Şonda şu gözenekleriň kanallary geometriki meňzeş, şonuň üçin hem işçi jisimiň akymy şu gözeneklerde meňzeş bolar.

Şeýlelikde şu gözeneklerde akym energiýa ýitgisi hem gazodinamiki häsiýetleri birmeňzeş bolar.

Real turbina gözenekleriniň hemmesi birmeňzeş bolýar. Halka görnüşli häsiýetli ýeri onuň ýaýrawlygy bolýar. $\frac{1}{\theta} = 1/d$

Halka görnüşli gözeneklerde profiliň ädimi t üýtgeýär, diametriň ulalmagy bilen ulalýar. Orta diametre görä silindrik kesik razwýortka edilende sopla gözeneginiň ädimi t_1 deň, kök diametri boýunça kesikde $d_{1k}=d_1-l_1$ ädim $t_{1k}<t_1$, soňky diametri $d_{1p}=d_1=l_1$, boýunça kesikde $t_{1k}>t_1$. Şonuň üçin gözenegiň beýikligi $b_1 = \text{const}$, onda otnositel ädim pilçäniň beýikligine görä ulalýar, şonuň bilen birlikde otnositel bokurdak we gözenegiň çykalgasyndaky peýdaly burç α_p hem ulalýar. Halka görnüşli gözeneklerden başga göni gözenek diýen düşünje ulanylýar, ýagny olaryň diametri tükeniksizlige getirýär. Göni gözeneklerde pilçe ädimleri beýikligine görä üýtgemeýär. 3-nji çyzgyda göni gözenek görkezilen. Laboratoriýa şertlerinde gazodinamiki häsiýetlerini öwrenmek üçin. Göni gözenek diýen düşünje turbomaşynlaryň gözenekleriniň teoretiki öwrenilende-de ulanylýar.

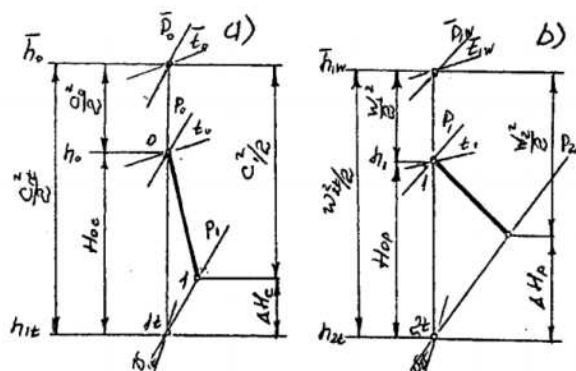


3-nji çyzgy. Gözenegiň modeli a) halka görnüşli. b) göni (ýasy) görnüşli.

Gözenegiň gazodinamiki häsiýetleri turbina basgançagynyň ýylylyk hasaplamasy üçin hökmany. Olaryň bahasyny teoretiki tapýarlar, köplenç

eksperimental görnüşde tapýarlar. Gazodinamiki häsiýetlere girýänleri: energiýa ýitgi koeffisiýentleri, mukdar koeffisiýenti we gözenekden çykýan akymyň burçy.

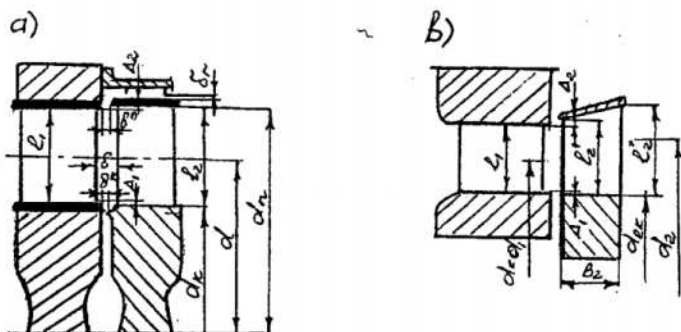
Gözenekden energiýa ýitgi koeffisiýenti diýip akymyň energiýa ýitgisiniň gözenekdäki akymyň doly energiýasyna bolan gatnaşygyna aýdylýar.



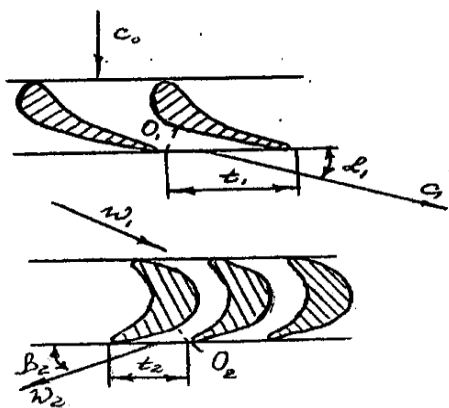
4-nji çyzgy. h - s diagrammada sopl (a) we işçi (b) gözeneklerdäki prosess.

Bir wenaly, iki wenaly basgançak üçin sopl we işçi gözenekleriniň ölçegleriniň kesgitlenilişi.

1. Bir wenaly basgançaklaryň gözenek ölçeginiň kesgitlenilişiniň aýratynlyklary.



1-nji çyzgy. Bir wenaly basgançagyň ugruna kesilen bölegiň işçi pilçeleri. Silindrik bandažly (a), we konus görnüşli (b).



2-nji çyzgy. Sopl we işçi gözenek kanallarynyň formasy.

1-nji çyzgyda bir wenaly turbina basgançagyň uzynlygyna shematiki çyzgysy görkezilen. Turbina basgançagy hasaplananda iki sany özara baglanşykly mesele çözülýär.

1) Sopla we işçi gözenekleriň esasy ölçegleri hasaplananda: l_1 we l_2 beýikligi, çykalga burçy α_1 we β_2 ulanylýan pilçe profiliniň tipi alnanda we oturdyлма burçy, horda ululygy, pilçäniň otnositel we absolýut ädimi, ýşlaryň sany z_1 we z_2 işçi pilçäniň bandažynyň tipi we ş.m. alynýar.

2) Basgançagyň otnositel PTK-lary η_{ol} , η_{os} kuwwatlylygy we işçi pilçe täsir edýän güýçler hasaplanylýar. Turbina basgançagynda sopla we kiçi pilçeleriň ölçegleri kesgitlenende tizlik üçburçlygyny gurmak we hasaplamak bilen bir wagtda bolup geçýär. Basgançagyň aşakdaky berlenler bilen kesgitlenilýär:

a) basgançakdan geçýän bug mukdary - G .

b) basgançagyň önündäki parametrlr bilen - C_0 , P_0 , t_0 .

ç) basgançakdan soňky basyş - P_2 .

Şulardan başga-da köp basgançakly turbinalarda ýylylyk tapawudynyň ýaýraýşyny bilmeli, tizlik gatnaşygy (u/C_ϕ), basgançagyň orta diametri d we reaktiwlik derejesi P belli bolsa.

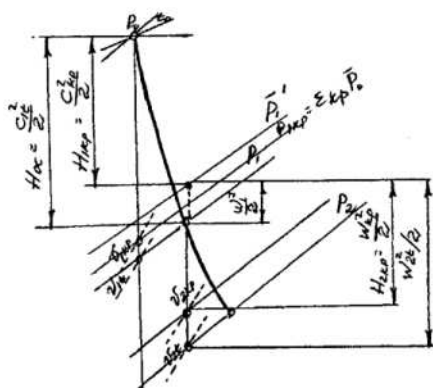
Sopla gözeneginiň ölçegi hasaplananda sesden önki tizlikde şu gözenekden çykalgasynda esasy kesgitleýji ölçeg bolup kesigiň bokurdak meýdany F_1 pilçäniň beýikligi l_1 parsial dereje e . Bokurdak kesiginiň meýdany ýa-da sopla gözeneginde çykalgadaky meýdan $F_1=0 \cdot z_1$ (çyzgy 2.) başga-da sopla gözeneginiň mukdar koeffisiýentini μ meýdanyny üznüksizlik deňlemesinden peýdalanyp bolýar.

$$F = G \cdot g_t / \mu_1 \cdot C_{1t} \quad (1)$$

Bu ýerde $C_{1t} = \sqrt{2H_{oc} + C_0^2}$ sopla gözeneginden çykalgadaky teoretiki tizlik.

ϑ_{1t} -sopla gözeneginde izoentrop giňelmedäki udel göwrüm.

μ_1 - sopla gözeneginiň mukdar koeffisiýenti. (çyzgy 3.)



3-nji çyzgy. Sopla we işçi gözeneklerde akym parametrlrini hasaplamak üçin.

F_1 -iň bahasy bilen sopla pilçäniň beýikligini l_1 kesgitlep bolýar hakykatda.

$$F_1 = l_1 O_1 z_1 = l_1 t_1 \sin \alpha_{1e} \frac{\pi d e}{t_1} \approx \pi d e l_1 \sin \alpha_{1e}$$

şeylelikde

$$e l = F_1 / \pi d \sin \alpha_{1e} \quad (2)$$

Şu formulada köplenç akymyň diametri d berilen, sopl gözenekden çykalga burçy $\alpha_1 = 11^\circ - 20^\circ$, bugyň göwrümleýin akmagyna görä we deňşlilikde sopl pilçäniň uzynlygy kesgitlenilýär. $G \cdot \vartheta_{1t}$ az mahalynda, uly bolmadyk burçlar alynýar uzyn loptkalary almak üçin olarda soňky ýitgiler az kelte pilçeleriňkydan. Ýöne kiçi α_1 burçunda sopladaaky profilii energiýa ýitgisi profilli energiýa ýitgisinde saklanýar. Bulardan başgada basgançaklaryň çykýan tizlikli energiýasy ulanylmaýar, kiçi burçlar ony kiçeltýär $\sin \alpha_1$ proporsionallykda az uzyn pilçeledre $\alpha_1 = 12^\circ - 16^\circ$ uzyn pilçeli basgançaklarda $\alpha_1 = 16^\circ - 20^\circ$. Haçanda $l_1 < 12\text{mm}$ we kiçi α_1 burç ýagdaýynda bugy bölekleyin bermeli. Şonda $l_1 = 12 - 14\text{mm}$ bolmaly we e parsiallyk derejesini hasaplamaly, $l_1 < 12\text{mm}$ bolanda soňky energiýa ýitgileri uly parsial bug berme ýitgileriniň kiçelme yzygiderliginden. Hakyky hasaplama geçirilende optimal parsial derejesini kesgitlemeli, kiçi soňky ýitgä we parsial bug berme ýitgisi sazlaýjy basgançaklarda soplada bugy ýaýratmak bahasyna seretmezden bölekleyin bermeli bolýar, konstruktiv mümkinçilik ýok. (hemme ýerine bug bermek). Parsial derejesiniň maksimal bahasy $E = 0,8 - 0,9$.

Işçi gözeneginiň esasy ölçegleri hasaplamazdan ozal tizlik üçburçlygy gurulýar $\varphi = 1 - \xi$ hasaplanylýar, ξ -profiliniň atlasyndan alynýar ýa-da eksperimentinden. Sopl gözeneginiň profil hordasynyň ölçegi diafragmalaryň ygtybarlylygy we berkligi, şertden ugur alynýar, köplenç 30-100 mm aralykda.

Işçi pilçäniň ölçegi kesgitlenende edil sopl gözeneginiňki ýaly üznüksizlik deňlemesinden peýdalanylýar, işçi pilçe kanalynyň bokurdak kesigi üçin ýazylan. Bokurdak kesiginiň meýdany ýa-da işçi gözeneginiň çykalga meýdany $F_2 = l_2 O_2 z_2$ aşakdaky formula bilen kesgitlenýär.

$$F_2 = G \vartheta_{2t} / \mu_2 \omega_{2t} \quad (3)$$

Nirede: $\omega_{2t} = \sqrt{2H_{op} + \omega_1^2}$

Işçi pilçeden çykalgadaky teoretiki tizlik ϑ_{1t} izoentrop giňelmedäki (işçi gözenekde) udel göwrüm; μ_2 mukdar koeffisiýenti. Sopl gözenegindäki ýaly işçi gözeneginiň çykalgasyndaky kesik meýdan F_2 görä $e l_2$ köpeldijini tapyp bolýar.

$$e l_2 = F_2 / \pi d_2 \sin \beta_{2v} \quad (4)$$

otnositel pilçeli işçi pilçeledre konus görnüşli bandaz ulanylýar we şu ýagdaýda $d_2 > d_1$ çykalga burçy β_2 , ýa-da önki basgançakda belli nusga getirilen şerti boýunça alynýar, başga-da (4) formula bilen kesgitlenilýär işçi pilçäniň beýikligini goýup, aşakdaky deňlikden hasaplanan

$$l_2 = l_1 + (\Delta_1 + \Delta_2)$$

silindrik bandaž üçin

$$l_2 = l_1 + (\Delta_1 + \Delta_2) + B_2 \operatorname{tg} \gamma$$

1. Konus görnüşli bandazly işçi pilçe.

Δ_1 we Δ_2 ululyga basgançagyň kökli we periferiň üstid iýilýär.

Uzyn pilçeli basgançaklarda üstleriň jemi 10-15 mm ýetýär. İşçi pilçeleriň hordasy $b_2 = 20-80$ mm бүкүлме napрызениýesiniň berkligi boýunça alynýar.

β_2 burçy boýunça işçi pilçäniň profili alynýar ψ tizlik koeffisiýentini $\psi = \sqrt{1 - \varphi}$ formuladan hasaplanylýar φ sprawoçnikden alynýar.

2. Iki wenaly basgançagyň gözenek ölçegleriniň kesgitlenilişiniň aýratynlygy.

Iki wenaly basgançaklaryň tizlikleri ölçegleri sopla we işçi gözeneklerde, birinji hatary bir wenaly basgançagyňka meňzeş gönükdiriji we işçi gözenekleriň hem meňzeşlikde kesgitlenýär bir wenaly basgançagyňka. Gönükdiriji gözenekleriň ölçegleri kesgitlenilişiniň yzygiderliligj aşakdaky ýaly. Birinji hataryň işçi gözeneginiň beýikligi l_2 belli ýagdaýynda gönükdiriji gözenegiň beýikligi l_1 kesgitlenilýär.

$$l'_1 = l_2 + (\Delta_1 + \Delta_2)$$

Soňra gönükdiriji gözenekden çykýan akymyň burçy hasaplanylýar.

$$\sin \alpha'_1 = G \mathcal{G}'_u / \mu_H \pi d C_H l'_1 e \quad (5)$$

Bu formulada çykalga tizligi gönükdiriji gözenekden:

$$C'_u = \sqrt{2H_{OH} + C_2^2}.$$

Gönükdiriji gözenekden çykýan udel göwrüm ϑ'_1 h-s diagrammadan kesgitlenilýär.

μ - gönükdiriji gözenegiň mukdar koeffisiýenti aktiw tipli işçi gözenegiň mukdar koeffisiýentine golaý.

α_1 -burçy boýunça profiller atlasyndan gönükdiriji gözenegiň profili aýlanýar we çykalga tizlik üçburçlygy gurulýar. Ikinji hatardaky işçi pilçeler üçin.

Tizlik koeffisiýentini we b_n hordaly işçi pilçeleriniň ölçegleri kesgitlenilýär. Gönükdiriji gözenegiň beýikligine l_1 görä ikinji hataryň işçi pilçeleriniň beýikligi hasaplanýar.

$$l'_2 = l'_1 + (\Delta_1 + \Delta_2)$$

Δ_1 we Δ_2 bir wenaly basgançaklarynyňky ýaly alynýar. Ikinji hataryň işçi gözenekleriniň akym çykalgasynyň burçy aşakdaky formula bilen hasaplanylýar:

$$\sin \beta'_2 = \frac{G \mathcal{G}'_{2t}}{\mu'_2 \pi d \omega'_{2t} e l'_2} \quad (6)$$

Bu ýerde $\omega'_{2t} = \sqrt{2H'_{op} + (\omega'_1)^2}$ teoretiki tizlik işçi pilçeden çykalga.

ϑ'_{2t} -udel göwrüm ikinji hataryň işçi pilçeden çykalgadaky.

μ'_2 - mukdar koeffisiýenti işçi gözenegiň ikinji hatarda.

β'_2 -çykalga burçuny profiller atlasyndan işçi gözenegiň profillerini alýarlar we tizlik üçburçlygy gurulýarlar, ikinji hataryň işçi gözeneklerinden çykalgada tizlik koeffisiýenti we hordasy b_2 -ni bir wenaly basgançagyň işçi gözenekleri ýaly.

Basgançagyň otnositel içki PTK-sy goşmaça ýitgiler.

Otnositel pilçe PTK-sy kesgitlenilende basgançakdalcy esasy energiýa ýitgileri hasaplanylýar: sopl pilçesinde energiýa ýitgisi ξ_s , işçi pilçesinde ξ_s we çykalga tizlik bilen ξ_{bs} (iki wenaly basgançakda bulardan başga gönükdiriji pilçedäki ξ_n we ikinji hataryň işçi pilçesinde ξ_s energiýa ýitgileri) seredilen.

Agzap geçilenlerden başga basgançakda goşmaça ýitgiler peýda bolýar: diska sürtülmesi we pilçe bandažyndan ξ_s ýitgiler ýitgi stator bilen rotoryň arasyndaky yşlardan akýan bug ýitgisi ξ_s çygly bugyň akmagy bilen bagly ýitgi ξ_s . Rotorda basgançagyň döreden peýdaly ýagny kuwwatlylygy hasaplananda goşmaça ýitgileri hökmany göz önüne tutmaly. N_1 kuwwatlylygyna degişlilikde içki otnositel PTK düşünjesi girizilýär.

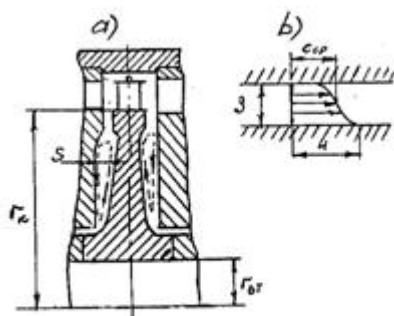
$$\eta_{oi} = N_i / N_0 = \eta_{oi} - \xi_t - \bar{\xi}_n - \xi_y - \xi_{bl}$$

Takyk basgançakda agzalan goşmaça ýitgilerimiziň hemmesi ulanylmazlygy mümkin. Ýagny aşa gyzdyrlan buga çygly bug ýitgisi ýüze çykmaýar, parsiallyk derejesi $e=1$ deň bolan basgançaklarda parsial (bölekleyin bug) ýitgisi ýok.

Goşmaça ýitgiler, basgançagyň iş rezim parametrlerine bagly: tizlik gatnaşygyna u/C_ϕ , Re sanyna we belli käbir basgançaklarda goşmaça energiýa ýitgileri optimal tizlik gatnaşyklaryna u/C_ϕ düýpli täsir edýär.

1. Diskiň sürtülme we pilçe bandazynyň ýitgisi.

Turbina diskiniň aýlanma mahalynda gozganmaýan diwarlaryň döredýän kamerada. Meselem: aralykdaky basgançaklaryň goňşy diafragmalarynda gaz ýa-da bugly sredada diskiniň aýlanmagyna garşy aerodinamiki güýç döredýär. Şu garşy güýji ýeňip geçmek üçin sürtülme kuwwatlylygy N_{tr} diýen kuwwatlylyk sarp edilýär. (çyzgy 1.) Şol ululyga görä peýdaly kuwwatlylyk kiçelýär, ýagny basgançagyň işçi pilçelerine seredip turbina walyna geçirilen peýdaly kuwwatlylyk N_1 .



1-nji çyzgy. Turbina diskiniň kamerasynda bug kesiginiň shemasy. a) Disk kamerasynyň dikligine ölçegi, b) Disk bilen diafragmanyň aralygyndaky yşda bug tizlikleriniň epýury.

Disk aýlanandaky aerodinamiki güýç bolup diskiniň we bandazyň ýylmanak üstlerindäki sürtülme güýji hyzmat edýär. Sürtülme güýjüne basyşyň garşylyklaýyn güýçleri goşulýar, bug zyňylmalary bilen döredýän ýa-da bugyň gaçmagy (çyzgy 1b.) çyzgyda akym tizliginiň epýury görkezilen, disk we gozganmaýan üstleriň arasynda aýlanma mahalynda döredýän. Aýlanýan diskiniň we aýlanmaýan üstleriň tizlik epýurynda gradiýentiň ulalýandygy görünýär. Kameranyň orta böleginde akym tizligi takmynan diskiniň aýlanma tizliginiň ýarsyna deň. Akymyň aýlanma hereketi gradiýent basyşyny döredýär, radiusyň uzynlygyna gönükdirilen. Şu gradiýentiň täsiri astynda diwaryň golaýynda töwerekden kameranyň ortasyna akym döredýär. Diskde bolsa uly tizlikli zolagynda merkezden gaçma güýçleriň täsiri bilen ortadan töwerege akym döredýär. Şeýlelikde aýlanşykly (sirkulýasion) akym döredýär. (çyzgy 1a.) Şu akymy goldamak üçin diskden alnan goşmaça energiýa sarp edilýär.

Diskiň sürtülme kuwwatlylygyny aýlanma mahalynda aşakdaky ýaly baha berip bolýar.

Turbulent rezimde akymyň sürtülme naprýazeniýasy diskiniň üstlerinde, akym tizliginiň kwadratyna we kameradaky bugyň dykzlylygyna kwadratlaýyn proporsionaldyr, haçanda disk aýlananda $t_{tr} \sim pu^2 = u^2/\vartheta$

u -aýlanma tizligi disk radiusynda $3\vartheta_{tr}$ disk kamerasynda bugyň (gaz) udel göwrümi.

Sürtülme güýjüniň momenti rotoryň okuna otnositellikde momentleri integrirläp (disk üstlerinde elementar meýdanda dF döreýän) hasaplanýar.

$$M_{tr} = \int_{2Fg} \tau_{tr} dF = 2 \int_{r_b}^{r_p} \tau_{tr} r 2\pi r dr$$

Şeýlelikde diskiň sürtülme kuwwatlylygy az mahalynda aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$N_{tr} = M_{tr} \omega \sim \frac{u_k^3 d_k^2}{g} \quad (d_k = 2r_k)$$

ýa-da

$$N_{tr} = k_{tr} \frac{u_k^3 d^2}{2g} \quad (2)$$

Koeffisiýent k_{tr} şu formulada kameradaky akym reziminine bagly ýagny Re sanyyna disk üstüniň tekizligine bagly, disk bilen gozganmaýan diwaryň aralygynda bagly kamerada.

Bug turbinalaryň basgançaklary üçin.

$$K_{tr} = (0,45-0,8) \gg 10^{-3}$$

Ýokardaky eksperimental baglanşyklar formula bilen ýazylýar.

$$K_{tr} = 2,5 \gg 10^{-2} \quad (3)$$

Diskiň sürtülme kuwwatlylygynyň, basgançagyň doly kuwwatlylygyna bolan gatnaşygy basgançakdaky diskiň we bandazyň otnositel sürtülme ýitgisine deň.

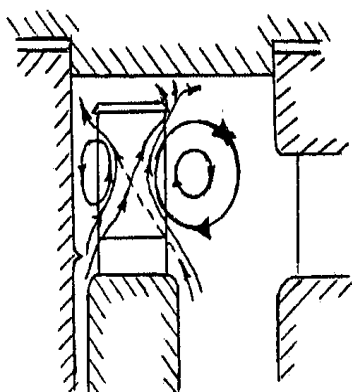
$$\xi_t = \frac{k_{tr}}{\pi} \frac{d}{el_1 \sin \alpha_{1e}} \quad (4)$$

$$\text{ýa-da} \quad F_1 = \pi d l_1 e \sin \alpha_{1e}$$

$$\xi_t = \frac{k_{tr}}{\pi} \frac{d}{el_1 \sin \alpha_{1e}} \left(\frac{u}{C_\Phi} \right)^3 \quad (6)$$

Kelte pilçeli basgançaklarda uly d/e gatnaşygy bilen häsiýetlendirilýän, sürtülme ýitgisi uly, otnositel uzyn pilçeli basgançaklaryňkydan ýagny kiçi d/e gatnaşykly. Sürtülme ýitgisine ξ_{tr} iş rezimine düýpli täsir edýäni u/C_Φ tizlik gatnaşyklary.

Bölekleyin buguň berilmegi bilen baglanşykly ýitgi



Buguň bölekleyin berilmelgi, kiçi kuwwatly turbinalardaky ýagny göwrümleýin buguň mukdary az

mahalynda ulanylýar. Bölekleyin bug berilýän basgançaklarda bug işçi pilçäniň hemmesine berilmeýär. Töwerek dugasynyň galan böleginde l-e, "duran" bug bilen dolýar. Aýlanma hereketi merkezden gaçma güýçleriň täsiri bilen işçi pilçeleriň düýbünden töweregine ýaýraýar we tersine bug hereketi bolmagy mümkin.

*4-nji çyzgy. Parsial basgançakda Wentilýasion
akymyň shemasy. Kanallarda işçi pilçäniň
aktiw dal dugasy.*

Bugyň süýşmegi bilen baglanşykly iş diskden aýlanýar. Şeýlelikde basgançagyň peýdaly energiýasy kiçelýär, kanallarda bugyň süýşmegi bilen (wentilýasiýa bilen) baglanşykly energiýa ýitgisiniň ululygy.

Işçi pilçäniň aktiw däl böleginde wentilýasiýa kuwwatlylygy bug mukdarynyň işçi pilçeler bilen berilýän (1 kg buga) işe köpeldilmegine deň.

$$N_w = G_w \cdot H_w$$

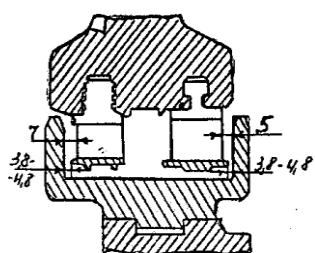
Bugyň mukdary G_w (le) dl_2 meýdanyna we u tizlige proporsional hem-de ters proporsional kamera diskdäki udel göwrüme, 1 kg bugyň işi H_w tizlige proporsional.

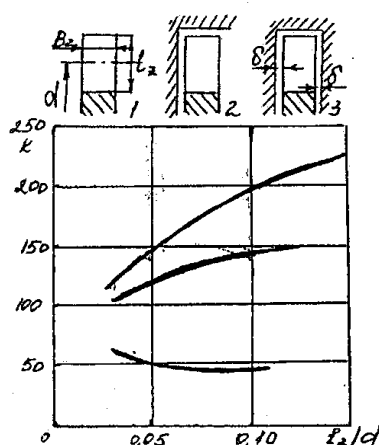
Şeýlelikde parsial basgançakda wentilýasiýa sarp edilýän kuwwatlylyk aşakdaky gatnaşyk boýunça kesgitlenilýär.

$$N_w = k(1-e)dl_2 \left(\frac{u}{100} \right)^3 \frac{1}{g_2'} \quad (7)$$

k -koeffisiýent geometriki we rezim faktorlaryna bagly. Wentilýasiýa kuwwatlylygyna kameranyň formasy we ölçegi duganyň aktiw däl böleginde uly täsir edýär. Eger-de işçi pilçeler wentilýasiýa garşy goraýjy klapanlar kožuhlar bilen ýapylan bolsa (çyzgy 15, 16) koeffisiýent 2-3 esse kiçelýär, goraýjy kožuhсыз koeffisiýent bilen deňeşdireniňde. Şu ýagdaýda bugyň mukdary G_w düýpli azalýar goraýjy konsullaryň bug hereketine täsir etmegi bilen.

*15-nji çyzgy. Goraýjy kozuh, parsial iki wenaly
basgançakda wentilýasiýa ýitgisini azaltmak
üçin.*





16-njy çyzgy. Goraýjy kozuhyň we pilçe otnositel beýikliginiň Wentilýasiýa ýitgisine täsiri $B_2/l_2=0,076$ bolanda.

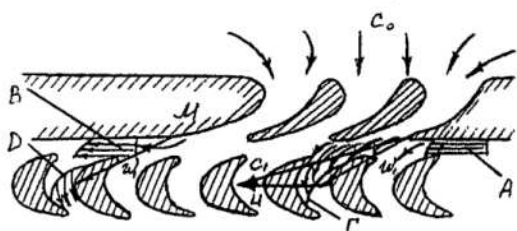
Parsial basgançakda wentilýasion otnositel energiýa ýitgisi goraýjy kožuhsyz bolanda (7) formuladan alyp bolar.

$$\xi_w = \frac{N_w}{N_o} = \left(\frac{k_w}{\sin \alpha_{1e}} \right) \left(\frac{1-e}{e} \right) \left(\frac{u}{C_\Phi} \right)^3$$

$k_w=0,065$ (8) formuladaky umumy ýagdaýda, goraýjy konusyň täsir edýän dugasyna $l_{kož}$ we wenalaryň sanyny m göz önüne tutup alýarys.

$$\xi_w = \frac{k_w}{\sin \alpha_{1e}} \frac{1-e-0,5e_{koh}}{e} \left(\frac{u}{C_\Phi} \right)^3 m \quad (8)$$

otnositel wentilýasion energiýa ýitgisi ξ_w bölekleyin bug berilmedaki energiýa ýitgisiniň bir bölegi bolup durýar. Beýleki ýitigniň düzüjisi, duga ahyrynda berilýän bug berilmede bolup geçýär. (sopla segmentleriniň gyrasynda) Şu ýitgileriň emele gelşini bilmek üçin bugyň parsial basgançakdan hereketiniň



17-nji çyzgy. Segmentiň energiýa ýitgisiniň emele gelme mehanizmi.

Duganyň sag tarapynda pilçeleriň arasynda duran bug akan mahalynda herekete gelinýär. (s-araçäk).

Şonda kanalma bulanma hereketi başlaýar. Duran bugy iteklemek üçin we bug bulanmasyna aktiw bugyň energiýasy sarp bolýar. Bulardan başgada diafragma bilen işçi pilçäniň arasynda duran bug ezektirlenýär. (akym A) şunada goşmaça bugyň energiýasy sarp bolýar. Duganyň çep tarapynda pilçeleriň

arasyndaky kanaida inersiýanyň täsiri bilen duran bug alynýar. Mundan başga-da çep tarapda aktiw bugyň utoçkasy bolýar. (akym B).

Sorulmada-utoçkada aktiw bugyň energiýasy sarp bolýar. Merdianal yşlardan bug utoçkasyny azaltmak üçin parsial basgançagyň reaktiwlik derejesi $P=0,02-0,06$ alynýar.

Bulardan başga-da segment ýitgileri sopl kanallarynyň gyraky kanallarynda energiýa ýitgilerini hem öz içine alýar.

Şeýlelikde parsial basgançakda segment energiýa ýitgileri birnäçe sopl segmentleriniň ahyryndaky döreýän baglanşyklar bilen kesgitlenilýär. Şu ýitgiler duran we iteklenýän bugyň mukdaryna proporsional, ýagny işçi pilçeleriň inine B_2 we beýikligine l_2 proporsional, segment ýitgilerine u/C_Φ tizlik gatnaşyklary sopl segmentleriniň soňky sany hem täsir edýär.

η_{ol} PTK-sy

Segmentiň ýitgileri aşakdaky formula bilen hasaplanyp bilner.

$$\xi_{seg} = 0,25 \frac{B_2 l_2}{F} \frac{u}{C_\Phi} \eta_{ol} \quad (3.24)$$

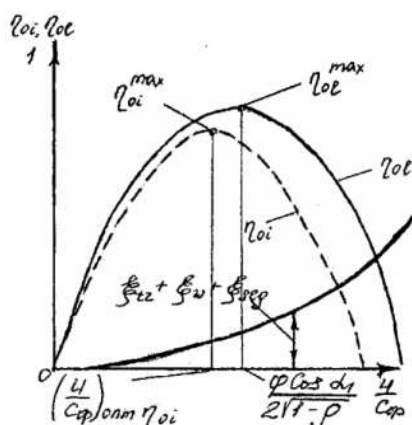
Iki wenaly basgançak üçin sanawjydaky $B_2 l_2$ köpeldiji işçi pilçäniň birinji $B_2 l_2 + 0,6 B_2' l_2'$ we ikinji hataryň köpeldijisiniň jemine deň. Wentilýasion ýitgi we segment ýitgisi bölekleyin bug bermedäki ýitgini düzýär.

$$\xi_p = \xi_w + \xi_{seg}$$

Basgançagyň içki otnositel PTK-sy aşa gyzdyrylan bugda işleýäni.

$$\eta_{oi} = \eta_{ol} + (-\xi_{tr}) - \xi_n = \eta_{ol} - \xi_{tr} - \xi_w - \xi_{seg}$$

3.18 çyzgyda $\eta_{ol} = f(u/C_\Phi)$; $\eta_{oi} = f(u/C_\Phi)$ baglanşyk grafigi görkezilen.



3.18-nji çyzgy. Basgançakdaky goşmaça energiýa ýitgileriniň PTK-ä we optimal tizlik gatnaşygyna $(u/C_\Phi)_{opt}$ täsiri.

Turbina basgançagynda goşmaça ýitgileri göz önüne tutmakbilen $h-s$ diagrammada buguň giňelme prosessi.

Seredilip geçilen otnositel energiýa ýitgileri diskiň sürtülmesi, bugyň bölekleyin berilmegi uteçkadan bug çyglylygy bilen baglansykly giňelme prosessi h-s diagrammada gurlanda göz önüne tutmaly otnositel energiýa ýitgilerini ξ_t , ξ_p , ξ_u , ξ_{wl} ulanyp 1 kg bugyň absolýut energiýa ýitgilerini aşakdaky formulalar bilen hasaplamaly.

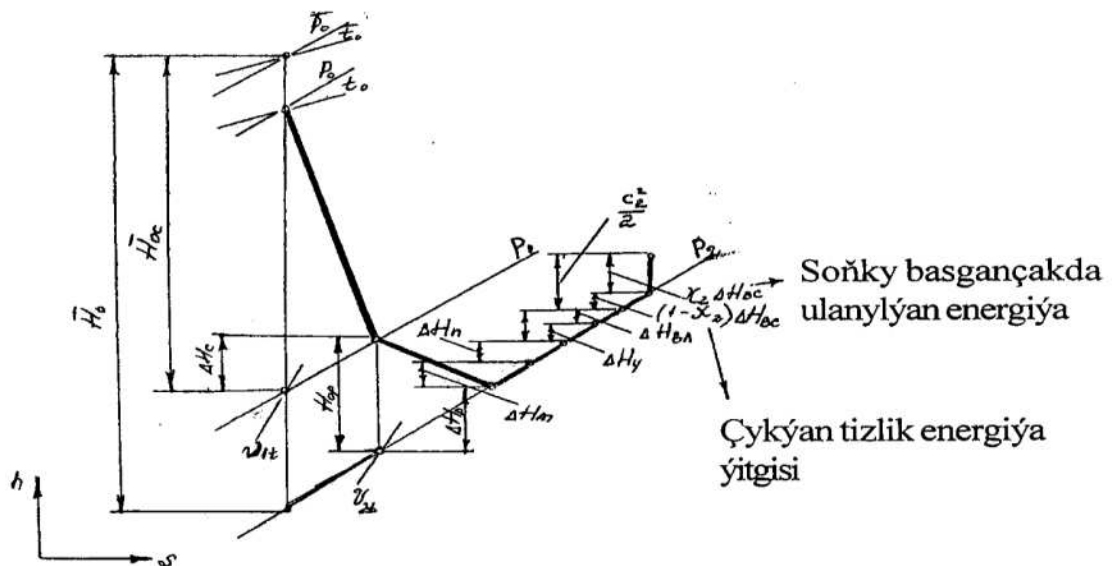
$$\text{Sürtülme ýitgisi } \Delta H_t = \xi_1 E_0$$

$$\text{Parsialýitgi } \Delta H_p = \xi_p E_0$$

$$\text{Uteçkaýitgi } \Delta H_u = \xi_u E_0$$

$$\text{Çyglylykýtgi } \Delta H_{wl} = \xi_{wl} E_0$$

Ýitgileriň ýylylygy basgançakdan soň buga berilip entalpiýasyny ulaldýar, P_2 izobara boýunça.



3.31-nji çyzgy. Basgançakda hemme energiýa ýitgileri göz önüne tutulan bugyň h-s diagrammada giňelme prosessi.

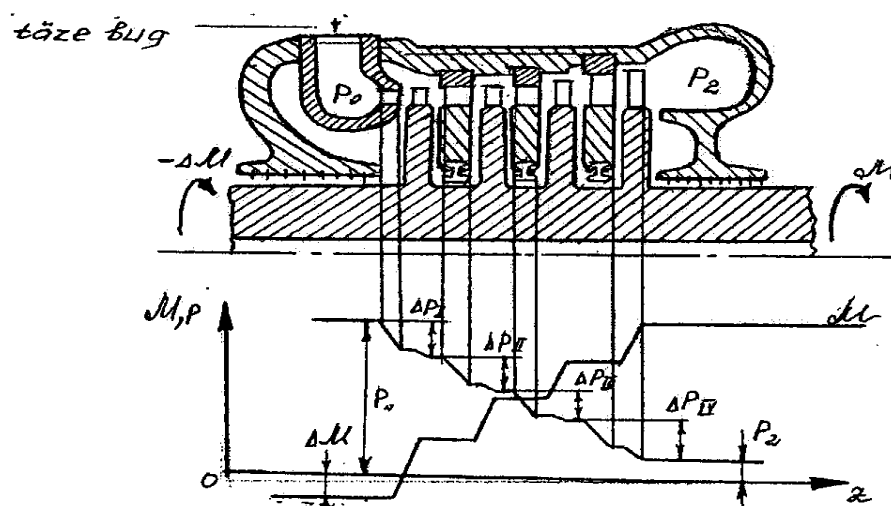
KÖP BASGANÇAKLY BUG TURBINASY

Köp basgançakly bug turbinasyndaky ýylylyk prosessi.

Häzirki zaman ÝES we AES-lerde bug turbinalarynda doly ýylylyk tapawudy 1000-1600 kJ/kg ýetýär.

Şu ýylylyk tapawuda peýdaly bug turbinasyny, häzirki zaman metal berkliginde gurmak mümkin däl. Hakykatda şu şertde bir basgançakly turbinalarda sopladan çykýan bugyň tizligi 1500-1700 m/s bolmaly. Şu aýlanma tizlikde pilçe we rotor berkligini saklamak mümkin däl. Bulardan başga-da M sany bugyň

akymynda 3-3,5 akymyň tolkun energiýa ýitgilerine getirýär. Şonuň üçin energetikada we halk hojalygynyň beýleki pudaklarynyň uly turbinalary köp basgançakly ýasaýarlar. Şu turbinalarda yzygider birikdirilen basgançaklarda bug giňelýär we ýylylyk tapawutlary doly ýylylyk tapawudynyň uly bolmadyk bölegini tutýar. Şonuň üçin köp basgançakly turbinalaryň aýlanma tizligi 120-150 m/s ÝBS we OBS-lerde basgançaklarynda 350-450 m/s kondensasion turbinalaryň soňky basgançaklarynda M bahasy akymda birnäçe basgançakda birden kiçi.



4.1-nji çyzgy. Turbinanyň uzynlygyna shemasy we okunyň ugruna basyşynyň we aýlanma momentiniň ýaýraýşy

$\Delta P_I - \Delta P_{IV}$ - basyş tapawudy turbinaň 1-4 basgançaklarynda P_0 -täze bugyň basyşy, P_2 -turbinadan çykalgadaký basyş.

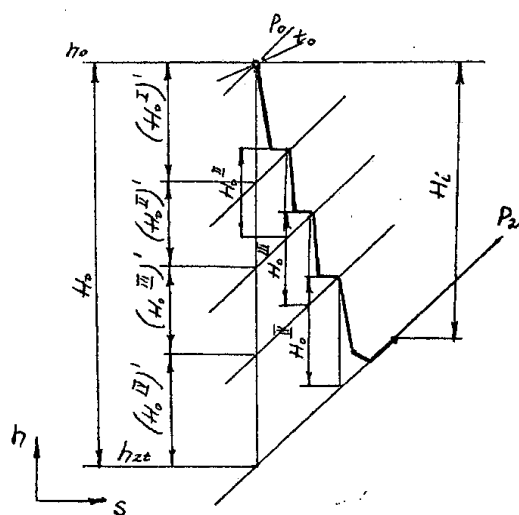
Geçen temalardan belli bolşy ýaly bir hatar sopl we bir hatar işçi pilçeler köplügi turbina basgançagyňy emele getirýär.

Şu çyzgyda turbina basgançagy kamera görnüşli, ýagny diafragmalaryň arasyndaky kameralar döredilen, onda işçi pilçeler bilen disk ýerleşen. Kameraly basgançaklarda düzgün boýunça işçi pilçeledre azajyk bugyň giňelmesi goýberilýär, ýagny kameraly basgançaklar uly bolmadyk reaktiwlik derejesi bilen ýasalýar, esasy bugyň giňelmesi sopl gözneğinde bolup geçýär.

Turbina girelgede täze bug, birinji basgançagyň soplalaryna barýar, sopl korobkasynda ýerleşdirilen. Birinji we soňky basgançaklaryň işçi pilçeleri

disklerde ýerleşdirilen. Birinji basgançagyň işçi pilçelerinden sorra bug ikinji basgançagyň sopla ahyrynabarýar. Diafragmalarda ýerleşdirilen ikinji 3,4 basgançaklaryň diafragmalary korpusa berkidilen. Diafragma bilen Walyň arasyndaky ýşlardan bugyň akmagyna garşy berkidilmeler edilen. Bugyň basyşy (çyzgy 4.1.) her basgançakda biraz kiçelýär. Aktiv basgançaklarda şu kiçelme sopla gözeneklerinde bolýar. Aýlanma momente wallary basgançakdan basgançaga ulalýar, aýlanma momentleriň jemlenmegi bilen her basgançakda bug akymy bilen döredilýän. Turbomaşyny işe getirýän aýlanma momenti sag tarapda kuwwatlylygy kesgitleýär, motoryň aýlanma ýygylgybilen; $N = M \cdot W$

Walyň çep tarapynyň üsti bilen uly bolmadyk momenti M ýag nasoslaryny işe girizmek üçin gidýär, (önki podşipnigiň korpusynda ýerleşdirilen) h -s diagrammada bugyň giňelme prosessi dört aktiv basgançaly turbinada çyzgyda görkezilen.



4.2-nji çyzgy. h -s diagrammada köp basgançakly turbinadaky prosess.

Basgançakdan basgançaga bugyň giňelmegi bilen bugyň basyşy kiçelýär, udel göwrüm bolsa ulalýar. Şunuň bilen birlikde sopla we işçi pilçeleriň uzynlygy gitdigiçe ulalýar. Pilçe uzynlygynyň yzygiderliligi basgançak üçin M bahasy bilen kesgitlenilýär.

M -bahasy nul töwereginde bolsa pilçe uzynlygy üýtgemän galýar.

Eger-de köp basgançakly turbina reaktiv basgançaklardan düzülen bolsa onda sopla pilçeleri turbina korpusynda ýerleşýär.

Ikinji aýratynlygy reaktiv tipli turbinalaryň basgançaklarynyň sanyny ulaltmak mümkinçiligi bar, bir H_0 ýylylyk tapawudy bolanda aktiv tipli turbina bilen deňşdireniňde.

Basgançak köp bolan ýagdaýynda bir korpusda ýerleşdirip bolmaýar. Şonuň üçin häzirki zaman kondensasion turbinalar (uly kuwwatly) birnäçe korpusly.

Köp basgançakly turbinalar bir basgançakly bilen deňeşdireniňde aşaky aýratynlyklary bar:

1. Köp basgançakly turbinalarda, bir basgançagyndaky ýylylyk tapawudyny kiçeldip, optimal tizlik gatnaşygyny u/C_ϕ alyp bolýar we doly PTK-sy bolýar. Basgançak sany köp bolsa şonça-da ýylylyk tapawudy her basgançakda az bolýar we C_ϕ we utizlikleri az. Basgançak gözeneklerinde ölçegsiz akym tizligi M kiçelýär, basgançak sanynyň köpelmegi bilen.

2. Köp basgançakly turbinalarda basgançak sanynyň köpelmegi bilen sopla we işçi pilçeleriň beýikligi ulalýar. Hakykatda $el = F_1 \pi d \sin \alpha_{1e}$ formuladan görnüyär ýagny l_1 - ulalmagy basgançagyň orta diametriniň d kiçelmegi bilen baglanşykly we sopla gözenek meýdany F_1 -ulalmagy bilen baglanşykly. Orta diametriň kiçelmegi bilen ýylylyk tapawudynyň kiçelmegi bilen düşündirilýär we şeýlelikde pilçäniň u aýlanma tizligi kiçelýär.

F_1 -meýdanynyň ulalmagy sopla pilçelerinden bug tizliginiň kiçelmegi bilen düşündirilýär. Sopla we işçi pilçeleriň beýikliginiň ulalmagy basgançak gözeneklerinde energiýa ýitgileriniň kiçelmegine getirýär.

3. Köp basgançakly turbinalarda çykanda tizlikli energiýa soňky basgançakdaky sopla pilçelerinden ulalýar. Şu çykýan tizlik energiýa soňky basgançagyň doly energiýasyny ulaldýar. Aralykdaky basgançaklary PTK-sy şu formula bilen kesgitlenilýär.

Şeýlelikde aralykdaky basgançaklarda çykýan tizlikli energiýa ýitgisi nula deň. Çykýan tizlikli energiýa soňky basgançakdan soňra ýitýär, kameralarda eger bar bolsa. Meselem, sazlaýjy basgançaklarda.

Köp basgançakly turbinalarda ýylylyk energiýa ýitgisi önündäki basgançagyňky soňky basgançaklarda peýdaly energiýa almak üçin bölekleyin ulanylýar. Turbinada ýylylygyň gaýdyp gelmeginiň döremegi bilen.

Köp basgançakly turbinalaryň konstruksiýasy burçy saýlap almaga mümkinçilik berýär, iýmitlendiriji suwy regeneratiw gyzdirmek üçin we bugyň aralykda aşy gyzdyrylmagy, bug turbina guralynyň absolýut PTK-sy düýpli ulaldýar.

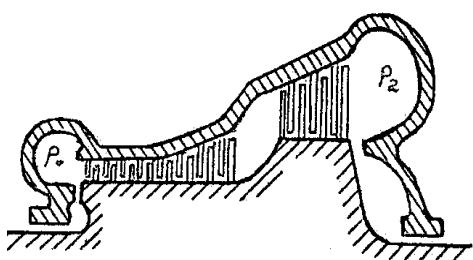
Köp basgançakly turbinalaryň iki sany esasy ýetmezçiligini aýtmak ýeterlik.

Basgançak sanynyň artmagyň bilen konstruksiýasynyň çylşyrymlaşmagy artýar we turbina taýýarlamagyň bahasy ulalýar. Yöne energetiki turbinalarynyň konstruksiýasynyň kynlaşmagy we bahasynyň artmagy turbinanyň PTK-synyň artmagy bilen öwezi dolunýar.

Köp basgançakly turbinalarda yşlardan uly bug ýitgileri döreýär, ahyrky we diafragma berkidilenlerden.

Önki berkidilmäniň önünde basyş näçe uly bolsa şonça-da turbinada basgançaklaryň sany köp. Bir basgançakly turbinalarda, diafragma berkidilmelerinde bug akma ýok.

Bellemeli zat turbinanyň düzümine stopor we sazlaýjy klapanlar girýär, turbinanyň önünde oturdylýan hem-de aralykda aşa gyzdyrylýan turbinalaryň orta basyşly böleginiň önünde. Şu kanallarda bugyň akymy gidrawliki energiýa ýitgileri bilen bolup geçýär, olar turbinanyň PTK-synyň kiçelmegine getirýär.



4.3-nji çyzgy. Reaktiv köp basgançakly turbina, (uzynlygyna shemasy).

Ýylylygy gaýdyp almak koeffisiýenti

Köp basgançakly turbinalaryň esasy meýdany taraplarynyň biri önündäki basgançagyň energiýa ýitgisiniň bölegini, soňky basgançaklarda peýdaly iş almak üçin ulanylýar. Basgançaklardaky energiýa ýitgisi ýylylyga öňrülýär we basgançakdan soňra bugyň entalpiýasyny galdyrýar. Aşa gyzdyrylan bug böleginde basgançakdan soňra bugyň temperaturasyny galdyrýar, çygly bug böleginde bolsa bugyň gurulyk derejesini has galdyrýar.

Bugyň temperaturasyny ýa-da gurulyk derejesini ulaltmak bilen basgançagyň ýylylyk tapawudy ulalýar, turbinadaky bugyň esasy izoentrop boýunça giňelmesi bilen deňeşdirlende 4.2 çyzgydan görnüşi ýaly $H'_0 > (H''_0)'$ $H''_0 > (H'''_0)'$ we ş.m. Şu ýylylyk tapawudynyň ulalmagy izobaralaryň h-s diagrammada entropiýanyň ulalmak tarapyna ýaýramagy bilen bolup geçýär.

Şeýlelikde eger basgançagyň ýylylyk tapawudyny H'_0 , H''_0 , H'''_0 jemlesek onda izoentrop boýunça ýylylyk tapawutlarynyň jeminden H_0 uly bolar.

$$\sum_{i=1}^z H'_i - H_0 = Q \quad (1)$$

Q - ýylylygyň gaýtarylmagy (basgançakdaky energiýa ýitgisiniň) köp basgançakly turbinanyň doly energiýa ýitgisini ulaltýar, bir basgançakly bilen deňeşdireniňde.

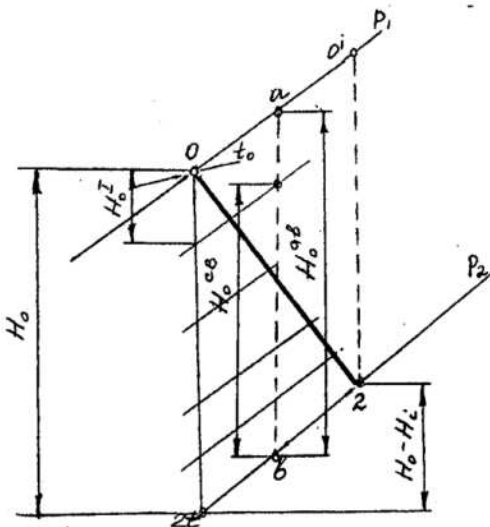
Birmeňzeş PTK-ly basgançaklardan duran köp basgançakly turbinanyň PTK-syny kesgitleliň.

$$\eta_{oi} = \frac{H_1}{H_0} = \frac{\sum_{i=1}^z H_i^{(j)}}{H_0} = \frac{\sum_{i=1}^z H_0^{(i)} \eta_{oi}^{CT}}{H_0} = \eta_{oi}^{CT} \frac{H_0 + Q}{H_0} \quad (2)$$

ýa-da $\eta_{oi} = \eta_{oi}^{ct}(1 - q_t)$ bu ýerde $q_t = Q/H_0$ ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýenti.

(2) deňlemiden görüňýär ýagny ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýentiniň döremegi bilen turbinanyň içki PTK-sy bilen deňşdireniňde. Şu PTK-nyň ulalmagy ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýenti bilen kesgitlenýär, ol 0,02-den 0,1 çenli aralykda üýtgeýär, H_0 we basgançak sanyna hem-de PTK baglylykda.

Basgançak sany belli turbinalaryň ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýenti h-s diagrammadan aňsat kesgitlenilýär. (1) we (2) deňlemeler boýunça ýylylyk tapawutlaryny jemläp turbinadaky ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýentini birnäçe metodlar boýunça kesgitläp bolýar. Metodlaryň biri ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýentini kesgitlemek h-s diagrammanyň kömegi bilen kesgitläp bolýar. (çyzgy 4.)



4-nji çyzgy. Ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýentiniň formulasynyň çykarylyşyna.

Eger-de turbinada tükeniksiz basgançak sany bar diýip hasap etsek, hakyky prosess 0-2 çyzykly boýunça gidýär, onda doly ýylylyk tapawutlaryň jemi hemme basgançaklarda 0-2t, 0'-2 çyzyk böleklerinde kesgitlenilýär.

0'-2 aralyga deň ýylylyk tapawudy gipotiçeskiý ýagdaýa degişli haçanda birinji öňündäki temperatura ulalandaky ýagdaý turbina basgançagyň hemme energiýa ýitgileriniň hasabyna.

Yagny basgançakdaky umumy energiýa ýitgisi basgançakdan basgançaga yzyzgider galýar, onda real ýylylyk tapawutlarynyň jemi a-b izoentrop boýunça kesgitlenilýär, 2t-2 we 0-01 çyzyk kesimleriniň arasyndan geçýän. Şeýlelikde

ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýentini, tükeniksiz turbina basgançagynyň sanynda aşakdaky formula bilen kesgitlenip bilner.

$$q_i^\infty = \frac{H_0^{ab} - H_0}{H_0} \quad (3)$$

Doly ýylylyk tapawudynyň deňlemesinden peýdalanalyň.

$$H_0 = k/k-1 RT_0 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{k/k-1} \right] = \frac{k}{k-1} P_0 g_0 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{k/k-1} \right] \quad (4)$$

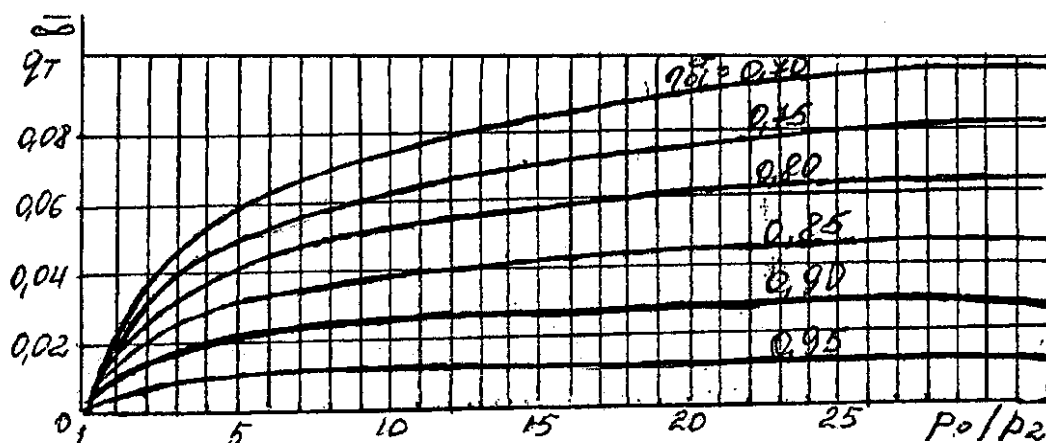
Nirede $\vartheta_0 = \vartheta_x$ (çygly bug üçin) Onda gaýtarylyp ýylylygy $Q_\infty = H_0^{ab} - H_i$ şeýle görnüşde tapyp bolar.

$$Q_\infty = \frac{k}{k-1} R (T_{0a} - T_0) \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_0} \right)^{k/k-1} \right]$$

$$\text{Şeýlede } T_{0a} = T_0 + \frac{H_0 - H_i}{2C_p} \text{ we } H_0 - H_i = (1 - \eta_{oi}) H_0$$

$$\text{Ahyrky netijede } q_i^\infty = \frac{A}{T_0} (1 - \eta_{oi}) H_0 \quad (5)$$

nirede A-hemişelik koeffisiýent, izoentrop görkezijä we gaz hemişeligine baglylykda (5) formula tükeniksiz basgançak sanynda hasaplama geçirmek aňsat suw bugynyň h-s diagrammasynda, haçanda k we R üýtgände. Ideal gazyň deňlemesini peýdalanylýan ýagdaýynda (5) formulamyz aşakdaky görnüşde ýazylyp bilner.



4.5-nji çyzgy. Ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýenti turbina basgançagynyň tükeniksiz köp sanynda $k=1,3$ üçin.

Ýylylygyň gaýdyp gelme koeffisiýenti basgançagyň gutarnykly sanynda kiçelýär, ýagny birinji basgançagyň ýylylyk tapawudy ýylylygyň gaýdyp gelmegi hem ulalmaýar. Şonuň üçin gaýtarylan ýylylyk Q basgançagyň gutarnykly sanynda kiçelýär. 4-nji çyzygydan hasaplap bolýan sanyna çenli.

$$Q = H_0^{CB} - (H_0 - H_0^I); \quad H_0^{CB} = H_0^{ab} \frac{z-1}{z} \quad \text{we}$$

$$H_0 - H_0^I = H_0 - \frac{z-1}{z}$$

Şeýle hem hemme koeffisiýenti basgançagyň gutarnykly sanynda aşakdaky görnüşde ýazyp bolar.

$$q_t = \frac{(H_0^{ab} - H_0^I)^{\frac{z-1}{z}}}{H_0} = q_t^\infty \frac{z-1}{z} \quad (6)$$

Praktiki hasaplamalarda alnan formula köplenç aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$q_t = k_t (1 - \eta_{oi}) H_0 \frac{z-1}{z} \quad (7)$$

bu ýerde $k_t = 4,8 \cdot 10^{-4}$ basgançak toplумы üçin aşa gyzdyrylan bugda işleýän. $K_t = 2,8 \cdot 10^{-4}$ çygly bug oblastynda işleýän basgançak toplумы üçin.

$k = 3,2 \cdot 10^{-4}$ basgançaklaryň bir bölegi aşa gyzdyrylan bugda, bir toplумы K_t koeffisiýentiniň bahasy H_0 degişli.

Bug turbasynyň errozion iýilmegi.

Kondensasion bug turbinalarynyň soňky basgançakarynyň işçi pilçeleriň errozion iýilmek bilen bolýar. Ýagny bug akymynyň çygly bolan ýerlerinde we tizligi ýokary bolan ýerlerinde, esasanda çygly bugda işleýän AES turbinalarynda (korpusda, diafragrammada, armaturalarynda we beýleki detallarynda) errozion iýilmek duş gelýär. Errozion iýilme işçi pilçeledre çygly damjalaryň işçi pilçe täsir etmegi bilen ýüze çykýar, ilki бүдүр-сүдүрлик soňra ýara ýaly pilçeleri zaýalaýar, formasyny ýitirýär. Uzak wagtlap çygly bugda işlän ýagdaýynda işçi pilçäniň ýokary bölegi doly ýok bolýar. Netijede pilçeleriň mehaniki berkligi azalýar we basgançak PTK-sy kiçelýär.

Errozion iýilmäniň mehanizmi esasanam yzygider mehaniki çygly bug tarapyndan mehaniki naprýazeniýanyň döremegi bilen baglanşykly damjalaryň pilçe üstüne yzygider urulmagy. Çygly damjanyň pilçe üstleriniň täsir etmegi N.E.Zukowskiniň gidrawliki urulma deňlemesinden kesgitlenilýär.

$$P = \alpha \rho_{wl} \omega_{wl} A_{wl}$$

ρ_{wl} -kanaldaky suwuklygyň dykzlygy.

ω_{wl} -damjanyň tizligi pilçe üstüne otnositellikde.

A_{wl} - suwuklygyň ses tizligi.

α - damjanyň tizligine görä üýtgeýän koeffisiýent.

$\alpha = 0,25-0,5$. $\omega_{wl} > 150 \text{ m/s}$ $\alpha = 0,5$.

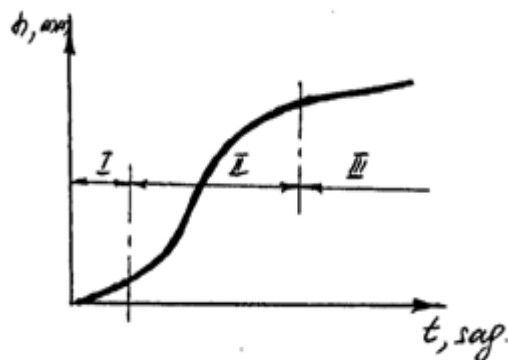
Damjalaryň pilçe 310 m/s tizlik bilen uranda urulma basyşy 310 Mpa ýetýär. Şol otnositel tizlige pilçäniň aýlanma tizligi $u=300 \text{ m/s}$ geçende ýetilýär.

Errozion prosess mahalynda mehaniki naprýazeniýeden başga metallaryň korroziýasy kowentasiýasy täsir edip biler. Pilçäniň errozion iýilmeginiň 3 sany döwri bar.

I-ikibasion döwür, haçanda potensial üstünde iýilme döräp başlanda.

II-yzygider erroziýa (iýilme) döwri.

III-erroziýanyň haýallaýan döwri.



4.9-njy çyzgy. Errozion iýilmän ortaça çuňlugy pilçäniň işlän wagtyna görä.

Şu döwürleriň dowamlylygy bugyň çyglylygyna deispersialylygyna damjalaryň pilçe üstlerine urulma tizligine bagly.

Çyglylygyň radius boýunça ýaýramagy deň däl soňky basgançaklarda esasanda köp çyglylyk gyraky oblastlarda köp duş gelýär, şonuň üçin esasanda errozion iýilmä esasanam gyraky pilçeler girýär, ol beýikligiň 1/3 böleginiň tutýar.

Işçi pilçeleri errozion iýilmekden goralýan usullar esas aşakdakylardan durýar:

1) Bug çyglylygyny kiçeltmek turbina girelgede täze bugyň temperaturasyny ulaltmak bilen ýetilýär, bugy aralykda aşa gyzdryp ýa-da seperator ulanylýar AES turbinalarynda.

2) Turbinanyň uzynlygyna çyglylyk saklaýjy gurallaryň ulanylmagy bilen. (kanalyň içinde seperasiýa, basgançagyň töweerginde çyglylyk saklaýjy gurallar, seperatorlar).

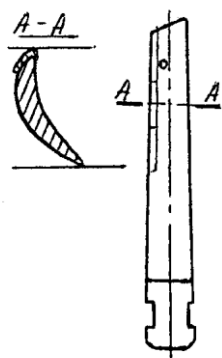
3) Sopla we işçi gözenekleriň arasynda yşlary ulaltmak bilen damjalary kiçeltýär we damjanyň bugynyň tizligini kiçeldýär, bu yşlar 100-300 mm ýetýär.

4) Damjakonsentrasiýasyny döredýän bandazlarynda aýyrmak.

5) Pilçe girelgede kanaljyklary ulanmak, pilçe bilen seperasiýa etmäge körnek edýär hem damja urgusyny azaldýar.

6) Errozion berk materiallary ulanmak. Berkidilen pilçe üstlerini peýdalanmak.

Pilçe girelgelerini berkitmek üçin arkatarapyndan kümüş çäýylan material nakladka edilýär.



4.10-njy çyzgy. Stellit nakladkaly işçi pilçe.

Stellit kobalt esasyndaky splaw, ýokary gatylygy we iýilmä berkligi bilen tapawutlanýar. Stellit nakladkasy pilçäniň uzynlygyna birnäçe bölekden durýar, ýylylyk giňelme mahalynda naprýazeniýany azaltmak üçin.

Radiativ bugda işleýän AES turbinalarynda kobalt splawlaryny ulanmak bolmaýar, radiasion howpsuzlygy üçin. Şonuň üçin birnäçe zawodlarda zakladkaly elektroiskra usuly bilen pilçe üstüne gaty material ýelmeýärler.

Agzalyp geçilen usullar erozion iýilmeden goramak üçin aýlanma tizligi 560-580 m/s turbinadan soňra çyglylyk derejesini 8% golaý etmäge mümkinçilikberýär. Kiçiräk aýlanma tizliklerde çyglylygy 10-12% ýetirip bolýar.

Berkidilme (dykzlandyrma) konstruksiýasy.

Turbina işiniň ygtybarlygy düýpli derejede onuň dykzlandyrmanyň konstruktiv ýerine ýetirilişine baglydyr. Köp basgançakly tubinalarda labirint dykzlandyrma ahyrky we diagrammalarda peýdalanylýar. Mundan başga-da turbina basgançaklaryň uzynlygyna bandazlarda perferiýa we pilçeleriň düýbünde dykzlandyrma ýerine ýetirilýär. Islendik labirint dykzlandyrmanyň effektiv işiniň wajyplygy bolup elementar dykzlandyrma basgançaklaryň konstruktiv ýerine ýetirilişidir: dykzlandyryjy dişler bilen döredilen yşlar we soňundaky giňeldiji kameralar. Yşlardan akýan akymyň kinetik energiýasy giňeldiji kameralarda dolulygyna ýetirilmegi hökmanydyr. Şu şerti ýerine ýetirmeklik beýleki deň şertlerde dykzlandyrmadan minimai bug çykdaýjysyny üpjün edýär.

Dykzlandyrmadan bu çykdaýjysyny azaltmak üçin yşlaryň soňuny Z köpeltmelidir. Şonuň üçin berilen dykzlandyrmanyň uzynlygyna mümkin bolan

köp dişi (yşy) oturtmalydyr, ýöne yşlardan soňky giňeldiji kameranyň ölçegi akymyň kinetik energiýasyny ýapmaga ýeterlik bolmalydyr.

Stator bilen rotoryň arasyndaky dykyzlandyryjy dişleriň kiçi yşlary bug çykdaýjysyny has effektiv azaltýar. Ýöne örän kiçi yş bolanda rotoryň statora degmegi mümkindir. Dişleriň birtaraplaýyn statora galtaşmagy ýylylyk bölüniji çykamak bilen bolup geçýär, ol rotor metalynyň perferiýa gatlagyny gyzdyrýar. Munuň netijesinde galtaşma ýerinde metalyň ýylylyk giňelmesi bolup rotoryň gyzgynlyga tarap бүкүlmegi, şeýle-de galtaşmanyň ýokarlanmagy, gyzmagy we rotor бүкүlmegi ýokarlanma bolup geçýär.

Rotor deformasiýa netijesinde gysylma naprýazeniýa döreýär, yzygider gyzmagynda metalyň süýnme çäklerine getirer we rotorda gysylma deformasiýasynyň döremegine getirer. Rotor duruzylanda we sowadylanda бүкүlme alar, rotor galtaşmasynyň tersine ugrukdyrylandyr. Бүкүlen rotor dikeldilmä degişli bolýar - завод şertlerinde çylşyrymly operasiýa ýerine ýetirilýär.

Dykyzlandyрма galtaşmalaryň soňky agyr netijelerinden aýyrmak üçin ahyrky we diafragma dykyzlandyrmalarynda häzirki zaman turbinalarda iki sany esasy çäre görülýär. Dykyzlandyryjy dişler (1) (çyzgy 4.6.) starda, rotorda bolsa ýylylyk kanaljyklary ýerine ýetirilýär. Galtaşmada rotor süýümleriniň termiki süýnmegi ýylylyk kanaljykiarynyň arasynda okuň ugruna otnositel erkin bolup geçýär, walyň бүкүlmegi we deformasiýa ýüze çykmaýar. Ikinji usulda bolup dykyzlandyrmanyň konstruksiýasy inçe dişler, rotora geýdirilen (çyzgy 4.6.b.) görnüşde ýerine ýetirilýär. Şu ýagdaýda rotora galtaşýan ýerinde sürtülmäniň ýylylyk geçirmegi çylşyrymly (kyn), ýagny inçe dişiň ýylylyk geçirmegi otnositel kiçidir.

Eger-de rotoryň statora otnositellikde onuň ugruna süýşmegi ýokary (meselem SND-lerde) bolanda gönümel basgançaksyz dişleri statorda (çyzgy 6.b.) ýerleşdirilen dykyzlandyрма ulanylýar ýa-da dişleri statorda we rotorda egredilen, dykyzlandyryjy dişleriň diametri statorda we rotorda birmeňzeş (çyzgy 4.6.) bolan görnüşde ulanylýar. Mukdar koýeffisiýenti azaltmak üçin şu dykyzlandyrmalaryň işleri bug akym ugrunyň tersine egredilendir. (4.6.b.r.) çyzgydaky dykyzlandyrmalar rotoryň we statoryň otnositellikde ok süýşmesini goýberilýär. 30:35 mm ýetýär. (4.6.a.b.) çyzgydaky basgançaklaýyn tipli dykyzlandyrmanyň ok süýşmesi dişleriň aralygy bilen çäklenýär.

Şeýlelikde ahyrky dykyzlandyrmanyň konstruktiv aýratynlyklary, dykyzlandyрма otsekleriň sany, dykyzlandyрма bug berilýän we alynýan kameralaryň sany ahyrky dykyzlandyrmalarda bug akymynyň gurnalşyna bagly bolup durýar. K-200-130 kondensasion bug turbinasynyň mysalynda ahyrky labirint berkidilmäniň bug akymynyň gurnalşyna seredeliň. Turbinanyň ähli

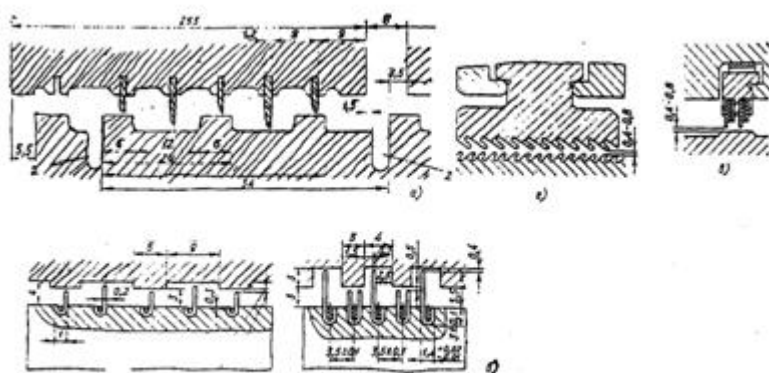
silindrleriniň ahyrky dykyzlandyrmalary otseklere bölünendir, olaryň arasynda kameralar dykyzlandyrma bug bermek we almak üçin niýetlenendir. Has köp SWD-niň öňündäki ahyrky dykyzlandyrmada ýerleşendir. Dykyzlandyrmanyň birinji otsekden soňra bug SWD-niň çykalga patrupkasyna alynýar, ýagny ol bugyň energiýasyny turbinanyň soňky basgançaklarynda peýdalanmaga mümkinçilik berýär. SWD-niň öňündäki dykyzlandyrmanyň ikinji otseginden suw we SWD-niň yzky dykyzlandyrmanyň birinji otseginde şeýle hem SSD-niň önki dykyzlandyrmasyň birinji otseginden dördünji regeneratiw gyzdyrylma ugraldylýar.

Bug yzyndaky otseklerden SWD we SSD dykyzlandyrmalarynda regenerasiýa sistemasynyň salnik gyzdyryjylaryna berilýär.

Ahyrky dykyzlandyrmalaryň ähli çetki kameralaryndan bug ezektorlary salnik gyzdyryjylaryna barýar. Ol ýerde ezektor bilen uly razrýazeniýa (wakum) (absolýut basyş 0,095-0,098 Mpa) saklanylýar.

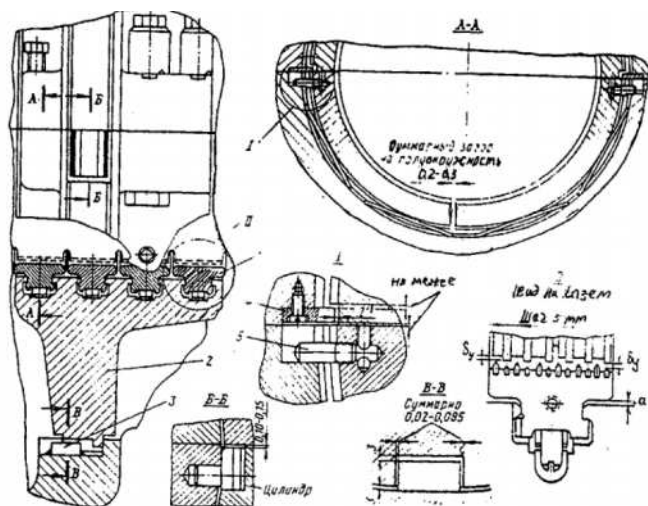
Dykyzlandyrmanyň çetki kameralarynda razrýazeniýa çaklanmagynyň sebäbi maşyn zala bug çykmagynyň şeýle hem podşipnikleriniň korpusyna bug degmeginiň öňüni almak üçin ulanylýar. Ahyrky dykyzlandyrmanyň çetki otseklerine goňşy kameralara Deaeratoradan umumy kollektor boýunça bug berilýär, onda sazlaýjy bilen 10(2)-20 Kpa (0,1 -0,2kk/sm²) basyş saklanylýar. Ahyrky dykyzlandyrma üçin turbinadaky basyş atmosfera basyşynda kiçi, şu kameralarda uly bolmadyk artykmaç basyş hökmandyr, turbina atmosferadan howa sormagy bolmaz ýaly ýerine ýetirilýär. SWD-niň ahyrky dykyzlandyrmasyna we SSD-niň öňünde 2 kollektordan gelyän bug rotor şeýkalarynyň we podşipnikleriniň temperaturasynyň peseldilmegini, rotoryň sowamagyny üpjün edýär.

Dykyzlandyryjy dişleriniň materialy: - latun - kiçi temperaturaly zonada MoHejib - metal-orta temperaturada. Hep^aBeioiiaH (çüýremeýän) polot X 1 D H 9 T ýokary temperaturaly zonada.

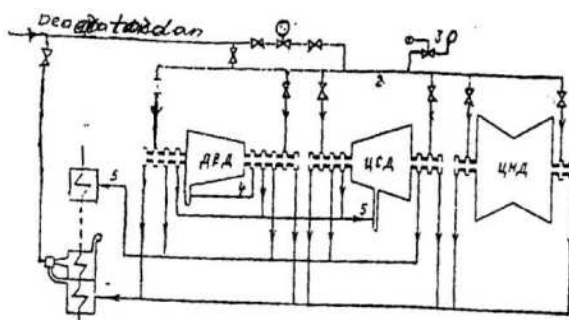


4.6-nji çyzgy.

Dykyzlandyrma tipleri



4.7-nji çyzgy.
Dykyzlandyrma



4.7-nji çyzgy. K-200.130 turbinanyň
dykyzlandyrma shemasy

Ýag üpjünçilik shemasy we sistemasy

Ýag üpjünçilik sistemasy turbina guralynyň esasy bölegi bolup durýar we onuň iş ukyplylygyny kesgitleýär. Ýag üpjünçiligi näsaz işlän mahalynda sazlaýjy sistemanyň togtamagyna hem awariýa bolmagyna getirýär, aýratyn böleklerini kämilleşdirmeli bolýar.

Ýagy turbina guralynda işçi rezim hökmünde sazlaýjy sistemada, ýaglaýş sistemasynda turbinanyň podşipniklerini sowatmakda ulanylýar. Ýag sistemasyny basyş derejesi boýunça iki topara bölüp bolýar:

1) Kiçi basyşly bölegi, ýaglamak, generatoryň berkidilmesi, gidromuftalary iýmitlendirmek üçin ulanylýar.

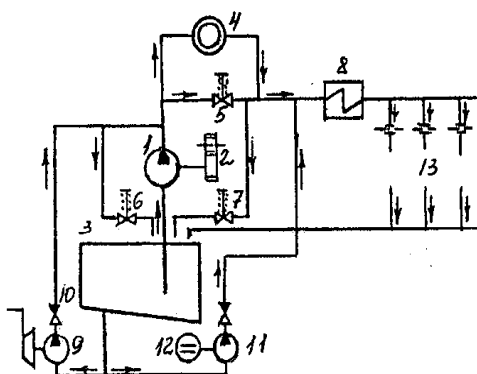
2) Uly basyşly bölegi sazlaýjy üçin ulanylýar. Ýaglaýş sistemasynda ýagyň basyşy 0,295 Mpa uly bolmaýar, generatoryň 0,392 Mpa. Sazlaýjy sistemada ýagyň basyşy onuň kuwwatlylygyna, turbinanyň parametrlerine we konstruktiw aýratynlyklaryna bagly. Kiçi we orta kuwwatly turbinalarda basyş 0,49-0,98 Mpa bolýar. Turbinanyň kuwwatlylygynyň we bug parametrleriniň artmagy bilen bugyň basyşyny uly edip alynýar. Bu serwomotor ölçeglerini çäklendirmek we sazlaýjy shemasyny çalt hereketini ýokarlandyrmak üçin hökmany.

Basyşy ýokarlandyrmak tendensiýasy turbinanyň sazlaýjy sistemasynda ýag ýangyjynyň döremek howpuny döredýär. Ýag aňsat ot alýar, 370-390°C temperaturaly gyzgyn elementler bilen galtaşanda we uly mukdarda ýylylk çykarmak bilen ýanýar.

Şonuň üçin ýag ýangyny uly weýrançylyga getirip bilýär. Esasanda sazlaýjy sistemasynyň turbalary ýarylanda ýangyna örän howply.

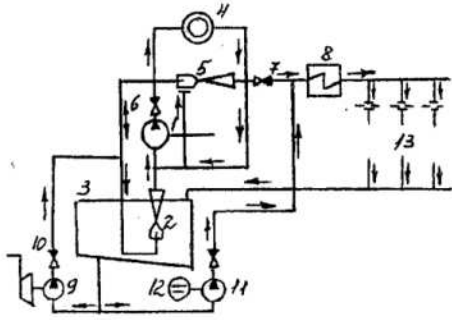
Yangyn problemalarynyň çözülişiniň has effektiwligi, sazlaýjy sistemalarda suw ýa-da ýanmak sintetiki ýag ulanmaklyga geçmek bolup durýar. (720°C ot alma temperatura). Sazlaýjy sistemasyndan üzňe olaryň biri-biri bilen gyzyşmaz ýaly. Suwly sazlaýjy sistemasyny K-300-240, K-500-240 HTZ we T-250/300-240 tipli turbinalarda ulanylýar, LMZ-de bolsa sintetiki ulanylýar.

Eger-de sazlaýjy sistemasynda ýag ulanylýan bolsa, onda sazlaýjy sistemasy we ýaglaýjy sistemasy umumy bakly turbany nasosly bolýar. Şunuň ýaly ýag üpjünçilik sistemasy aşakdaky shemalarda görkezilen.



10.1-nji çyzgy. Göwrümleýin tipli nasos bilen turbinanyň ýag üpjünçilik shemasy.

- 1- Esasy göwrümleýin nasos.
- 2- Reduktor (turbina bilen birikdirilen).
- 3-Ýag BAK.
- 4- Sazlaýjy sistemasy.
- 5- Reduktor.
- 6-7- Goraýjy klapnlar. (hökmany basyşy saklaýar)
- 8- Ýag sowadyjy.
- 9- Turbonasos (turbina duran we işlemäge başlan wagty işleýär).
- 10- Obratnyý klapn.
- 11 - Kömekçi awariýa nasosy. (7-9 nasoslar hatardan çykanda işleýär)
- 12- Hemişelik tokda işleýän elektrodwigatel.
- 13- Turbina podşipnikleri.



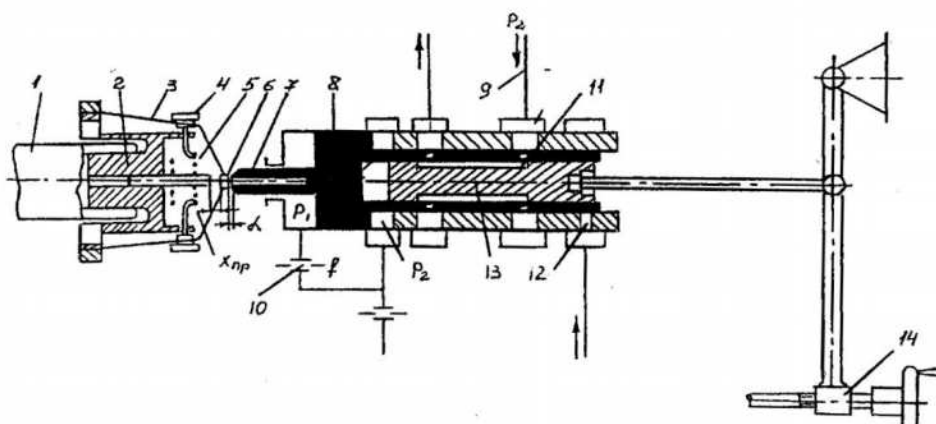
10.2-nji çyzgy. Turbinanyň ýag üpjünçilik shemasy merkezden gaçma nasos bilen.

- 1 - Esasy ýag nasosy.
- 2- Biirnji basgançagyň inzektory.
- 3-Ýag BAK.
- 4- Sazlaýyş sistemasy.
- 5- Ikinji basgançagyň inzektory.
- 6- Esasy nasosyň obratnyý klapany.
- 7- Podşipnikleriň ýag liniýasyndaky obratnyý klapany.
- 8- Yag sowadyjy.
- 9- Turbonasos.
- 10- Turbinaly ýag nasosyň obratnyý klapany.
- 11- Awariýa elektronasosy.
- 12- Hemişelik tokda işleýän elektrodwigatel.
- 13- Podşipnikler.

Turbina işe goýberilen mahaly nasosyň sorýan tarapynda howa bolmagy mümkin, şeýle bolsa nasos bakdan sorup bilmeýär. Şonuň üçin merkezden gaçma nasoslar mydama ýag bilen doldurylan bolmaly, ýel inzektorlaryň goranmagy bilen ýerine ýetirilýär.

Bug turbinalarynyň sazlanlyşy

Tizlik sazlaýjy.



1-njy çyzgy. Merkezden gaçma tizlik sazlaýjy.

- 1-Turbina waly.

- 2- Sazlaýjy korpussy.
- 3-Lenta.
- 4-Ýük.
- 5- Pružin.
- 6- Gaýtaryjy plastina.
- 7- Sopla.
- 8- Porşen.
- 9- Dolandyryjy liniýa.
- 10- Drossel.
- 11 - Uly ýag geçirij i okno.
- 12- Kömekçi okno.
- 13-Süýşýändetal. 14-
Motorjagaz.

Tizlik sazlaýjy hökmünde LMZ-niň merkezden gaçma sazlaýjysyna seredeliň.

1) Walyň soňuna sazlaýjynyň korpussy birikdirilen, olara bolsa (3) lenta ýük birleşdirilen. Bu ýükler pruzina bilen baglanyşdyrylan onuň merkezi bolsa wala birikdirilen.

Lentanyň (3) ortaasynda gaýtaryjy plastina (6) birikdirilen. Gaýtaryjy plastina (6) bolsa sazlaýjynyň süýşýän bölegine birikdirilen sopla (7) barýar, käbir hasaba alynýan deşikli porşen (9) dolandyryş liniýasyndan ýag guýulan sazlaýjy. Porşene başga-da daşky boşlugyna drosseliň (10) üstünden ýag berilýär we ondan bolsa sopla (7) geçýär. P_1 / P_2 basyş gatnaşygy bilen kesgitlenilýär we degişlilikde üýtgemeyän P_2 basyşda a yşy hemişelik sakanylýar. Rotoryň aýlanma ýygylgy üýtgände degişlilikde (4) ýükleriň merkezden gaçma güýçleri üýtgeýär.

Burç tizliginiň ýokarlandyrylmagy bilen merkezden güýç ýokarlanýar, ýükler gapdala ýaýraýar, a yş ulalýar. bu bolsa P_1 basyşyň kiçelmegine getirýär. Şu basyşyň üýtgemegi aşakdaky gatnaşyk bilen kesgitlenilýär.

$$\mu \pi d a \sqrt{\frac{2}{\rho} P_1} = \mu_1 f \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_2 - P_1)}$$

ρ -suwuň dyklyzlygy.

f -drosseliň kesiginiň meýdany.

μ, μ_1 - sopladan we drosselden geçýän mukdar koeffisiýenti.

$$\mu = \mu_1 - \text{hasaplasak } \pi d a \sqrt{P_1} = f \sqrt{(P_2 - P_1)}.$$

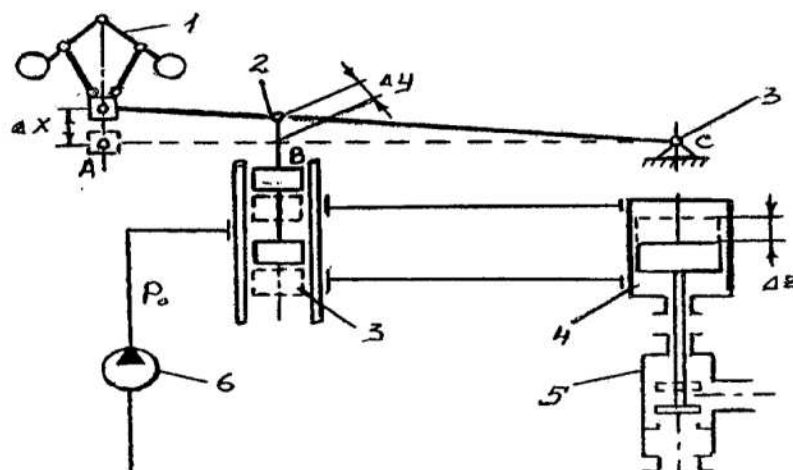
Sazlaýjynyň burç tizliginiň ulalmagy we degişlilikde a-nyň ulalmagy gozganýan böleginiň sazlaýja tarap süýşmegine we oknanyň açylmagyna getirýär.

Şonuň birlikde P_1 basyş kiçelýär, sazlaýjy sistemanyň beýleki elementlerine komanda berýär.

3300 ob/min predel burç tizligine ýetilende 12 goşmaça oknolar açylýar, ol bolsa stopor we sazlaýjy klapanyň ýapylmagyna getirýär. Aýlanma ýygylgy predel çäginde çyksa, şoňa çenli gaýtaryjy plastinanyň süýşmegi bolýar, X_{pr} yş boýunça kesgitlenilýär.

Sazlaýjynyň gozganýan böleginiň içinde detal 13 ýerleşýär, ony el bilen ýa-da motorjagaz 14 bilen süýşürilýär. 13 detalyň süýşürilmegi bilen, 11 oknonyň açylmagy we ýapylmagy sazlanýlar, edil 8 gozganýan böleginiňki ýaly hem-de P_h -basyşy kiçeler we sazlaýjy klapanyň ýapylýar.

Serwomatorly sazlanys



9.10-njy çyzgy. Serwomatorly sazlaýjy sistemasynyň işleýşi.

- 1-Tizlik sazlaýjy.
- 2- Ryçagyň opory. 3-Yeňil zolotnik.
- 4- Porşenli serwomator.
- 5- Stopor ýa-da sazlaýjy klapany.
- 6- Nasos.

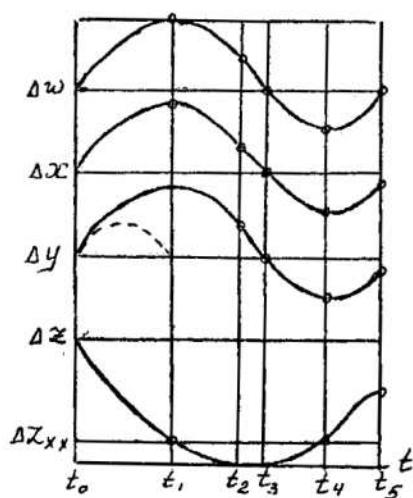
Energetiki gurallaryň ösmegi bilen gönümel sazlanys sistemasyny ulanmak mümkin däl, bugyň täsir güýçleriniň ulalmagy bilen (sazlaýjy organlara). Bug organlarynyň süýşmegi üçin hökmany aralykdaky maşynlar gerek. Şeýle maşynlar bolup porşenli gidrawliki herekete getiriji maşynlar giňden ýaýraýar. Şeýle hereketleriň peýdaly taraplary konstruksiýasy boýunça ýönekeý, ygtybarly dolandyrmak ýönekeý.

Bug klapanyň üýtgetmek üçin niýetlenen porşenli maşynlara serwomator diýlip atlandyrylýar hem-de silindriki zolotnik bilen dolandyrylýar, oky süýşürmek

üçin ullakan güýç gerek bolup durýar. Serwomotor sazlanýşynyň mümkin shemasy 9.10-njy çyzgyda görkezilen. Tizlik sazlaýjy 1 ýeňil zolotnigi 3 herekete getirýär, ABS ryçagyň kömegi bilen zolotnik 6 nasosdan suwuklygyň gelmegini we gitmegini amala aşyrýar, serwomatoryň 4 porşenlerine serwomatoryň porşenleri bug klapanalary bilen berk berkidilen. W-nyň bahasyna görä dolandyryş mehanizmi ryçakda üýtgeýän opor nokady görnüşde ýasalan.

Eger-de daşky N_e nagruzkamyz azalan bolsa onda rotoryň burç tizligi w ulalýar we onuň bilen baglanyşykly tizlik sazlaýjy 1 herekete gelýär. Sazlaýjynyň muftasy ýokaryk galýar, 3 zolotnigi galdyrýar we suwuklyk (ýag) uly basyş bilen serwomatoryň ýokary boşlugyna barýar, aşak boşlugyndan bolsa suwuklyk yzyny ýapýar.

Basyş tapawudynyň täsiri bilen porşen klapanalary we M_h bug momentini mufta önki ýagdaýyna gelende zolotnigi önki ýerine goýup serwomotor boşluklaryna suwuklyk barmasy kesilýär hem-de porşen saklanýar. Sereden sazlaýjy sistemamyz burç tizligini saklaýan statiki ýalňyşlyksyz, ýagny deňsizlik derejesi nula deň. Şeýle sistema izodrom diýip atlandyrylýar (hemişelik aýlanma). Şunuň ýaly sistemalaryň birdurnukly derejesinden beýleki rezime geçiş prosessine seredeliň. Daşky nagruzkamyz doly ýitirildi diýip hasaplalýň. Burç tizligi ω ulalyp başlaýar. (çyzgy 9.11). Degişlilikde sazlaýjynyň muftasy ýokaryk galyp zolotnigi galdyrýar. Serwomatora gelýän suwuklygyň täsiri bilen serwomatoryň porşeni turbina bugyň gelemegini ýapyp başlaýar. Haýsyda bir t wagtda klapan h.h. ýagdaýa ýetýär we burç tizliginiň ulalmagy tamamlanýar. ($M_{phh} = M_t$). Ýöne şol wagt zolotnik ortadaky ýagdaýynda dur, suwuklyk basyş bilen serwomatoryň ýokarky boşlugyna gelmegini dowam edýär we porşen klapany ýapmagyny dowam edýär, doly ýapýança. ($t=t_2$).



9.11-nji çyzgy. Nagruzka ýiten mahaly
servomotorly sazlaýyş sistemasynyň
işleýşi.

T_1 wagtyndan başlap haçanda içki garşylyk güýçleriniň momenti M_t , M_p momentinden uly bolýan rotoryň burç tizligi bolsa kiçelip başlaýar. Ýöne t_2 ,

wagtynda $\Delta\omega=0$ bolanda-da M_t , M_p deňsizligi saklanýar we burç tizligi bolsa kiçelmegini dowam edýär.

T_3 wagtynda $\Delta y=0$ deňlik ýüze çykdy diýip hasap etsek. Klapaň ýapyklygyna durýar, burç tizligi bolsa kiçelmegini dowam edýär. Zolotnigiň aşak süýşmegi bilen rotoryň aşaky boşlugyna ýag gelip başlaýar. T_4 -den momentinden $M_p=M_g$ deňlik bolýar. Ýöne şol wagtam burç tizligi ω_0 kiçi porşeniň hereketi ýokarlygyna dowam edýär we burç tizligi hem ulalyp başlaýar.

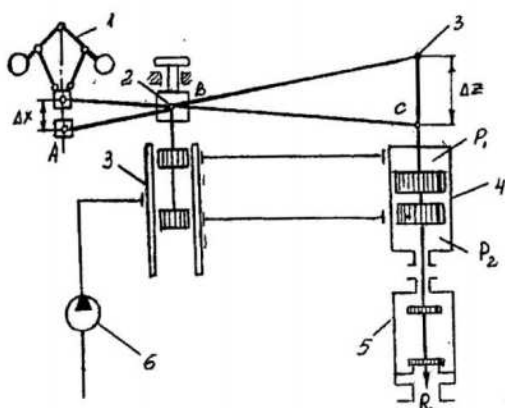
9.11-nji çyzgydan görnüşi ýaly sazlaşyk sistemasynyň birnäçe tolkunlar (hereketinden) soňra hemme sistemanyň deňagramlylyk ýagdaýy başlaýar. Hemme elementleriň hereketinde haýsyda bir mukdar gatnaşykly ululyklar kesgitlenilmedi we diňe sistemaň strukturasyna bagly boldy, şunuň ýaly sazlaýjylary geçiş prosessleri hemme ýagdaýlarda bolup bilýär.

Tolkuny geçiş bolman hem bilerdi, eger t_1 wagt momenti zolotnik orta ýagdaýyna gelen bolsa (ştrihli egri çyzgy 9.11 $y=f(t)$).

Şunda $M_p=M_g$ deňligi bolarda we serwomatorlaryň porşeni ýapyk bolardy. Ýöne şol wagtda rotoryň burç tizligi, ω_0 bahasyndan ýokarda sazlaýjynyň muftasy bolsa hiç-hili usul bilen önki ýagdaýyna gelip bilmeýär. Bu ýerden şeýle netije çykaryp bolar, ýagny zolotnikaň orta ýagdaýyna gelmegi diňe aşaky şertde bolup biler.

Eger onuň süýşmesi tizlik sazlaýjynyň muftasynyň süýşmesi bilen dälde serwomatoryň porşeniniň süýşmesi bilen kesgitlenip bilner.

Şeýle tizlik sazlaýjynyň shemasy 9.12-nji çyzgyda görkezilen (pozisiýasy edil 9.10-njy çyzgydaky ýaly). Şu berlen ýagdaýda ABS ryçagy serwomotor porşeniniň soňky baglanşygy bolup rol ýerine ýetirilýär, ýagny öz-özüne täsir etmegi.

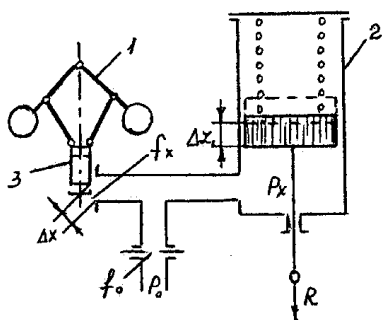


9.10.-nji çyzgy. Yzky baglanşykly we MUT-ly sazlaýyş sistemasy.

9.10 we 9.12-nji çyzgylardaky shemalary deňeşdirip bilýäris, ýagny ikinji ýagdaýda serwomatoryň porşenine sazlaýjy muftasynyň hereketiniň tersine hereket edip, zolotnigiň süýşmegine azaldýar, şonçada serwomatoryň boşlugyna ýagyň gelmegi azalýar we şunlukda porşen hereketiniň tizligi azalýar, ol sistemanyň

basym işledilmegine otrisatel täsir edýär. yzky baglanşygyň wajyp häsiýetleriniň biri, ol serwomotor porşenini ýapyk ýagdaýynda saklaýar. Sistemanyň durnukly ýagdaýy bolanda, tötänleýin serwomotor porşeni aşak süýşüp başlaýar, diskiň (Meselem: porşenleriň arasynda ýaglaryň geçmegi). Onda yzky baglanşygyň täsir etmegi bilen zolotnik (3) aşak süýşýär we ýag ýokary basyş bilen serwomatoryň aşaky boşlugyna barýar hem-de porşen önki ýagdaýyna geçýär. Şeýlelikde yzky baglanşyk statiki rezimiň bozulan ýagdaýynda tizlik sazlaýjysynyň komandasyna görä serwomotor porşeni takyk süýşürmäge mümkinçilik berýär.

Sazlaýjy sistemasynda ryçagly baglanşyklardan başga, aýratyn elementlerde gidrawliki baglanşyk hem bolýar. Meselem: 9.13-nji çyzgyda gidrawliki sazlaýjy shemasy görkezilip, (tizlik sazlaýjydan zolotnigiň kömegi bilen serwomatora gidrawliki komanda beriji).



9.13-nji çyzgy. Güýçlendirilen iki basgançakda sazlanýş sistemasy.

Serwomatoryň porşeniniň täsir edýän güýçleriniň deňlemesini aşakdaky görnüşde ýazyp bolýar.

$$P_h F = c z_1 \text{ ýa-da elementar süýşmegi.}$$

$$P_h F = c \Delta z_1$$

c -pružiniň berkligi.

F -serwomatoryň porşeniniň meýdany.

P_h -baglanşyk liniýasynda suwuklygyň basyşy.

Z_1 -pružiniň deformasiýasy, P_h -basyşy bilen şertlendirilen.

Şeýle serwomotorlarda yzky baglanşyk bolup serwomatoryň pružinasy gulluk edýär.

9.13-nji çyzgydaky bellikleri göz önüne tutup akymyň üznüksizlik deňlemesi aşakdaky görnüşe gelýär.

$$\mu_0 f_0 \sqrt{2 / \rho (P_0 - P_z)} = \mu_z f_z \sqrt{2 / \rho P_z} \quad (9.19)$$

f_0 -dolandyrylma liniýasyna gelýän suwuklygyň girelgedäki drosseliň deşik meýdany.

f_h -akymyň suwuklyk kesiginiň meýdany, zolotnik bilen doldurylýar.

μ_1, μ_2 -mukdar koeffisiýentleri.

ρ -suwuklyk dykzlygy.

Meseläni başgaça P_h basyşyň sazlaýjynyň muftasynyň süýşmeginden $1/x$ gönümel baglansygyny goýup bolýar.

(9.19)deňlige f_h bahasyny goýup:

$$P_h = P_0 / 2 (\mu_1 f_0 / \mu_2)^2 1 / b^2 X^2$$

$1/X$ -dan gönümel baglansygyny saklaýarys. F kesigini profilleyäris.

Ýagny onuň inini üýtgedip P_h -yň. Şunuň üçin bolmaly

$$P_h = P_0 / 2 (\mu_1 f_0 / \mu_2)^2 1 / a 1 / X \quad (9.20)$$

Nirede $a = b^2 X$ hemişelik ululyk.

$b = \sqrt{a/X}$ okno ini.

(9.20) deňlemenden görnüşi ýaly P_h diňe $1/x$ bagly däl-de P_0 -da bagly, ýagny serwomator porşeniniň ýagdaýy berilýän suwuklygyň basyşyna bagly. Bu bolsa P_0 -y gerekli derejede saklamaklygy talap edýär. 9.13-nji çyzgydaky zolotnik 9.12-nji çyzgydakydan tapawudy birinji gönümel, soňky bölüji diýip aýdylýar. Gönümel zolotnikden üznüksiz suwuklyk akýar, bölüjide suwuklyk akymy togtaýar, eger orta ýagdaýynda duran bolsa.

Klapa ştogyna 9.12-nji çyzgy bug basyş güýji R täsir edýär diýip hasaplamanýň şu güýç basyş tapawutlary bilen $P_2 - P_1$ deňagramlaşýar. Porşen meýdanyny F diýip hasaplap ýazýarys.

$$(P_2 - P_1)F = R \quad (9.21) \text{ sebäbi } P_2 < P_0 \quad P_1 > 0$$

Eger-de $P_2 = P_0$ bolsa R -iň ulalmagyna diňe P -iň kiçelmegi bilen deňagramlaşyp biler. $P_1 = 0$ predel ýagdaýy.

Basyşlaryň maksimal tapawudy $P_2 - P_1 = P_0$ deň, porşen güýjüniň maksimal ýagdaýyna degişli.

$$P_0 F = R_{\text{maks}}$$

Şeýlelikde gidrawliki serwomatoryň maksimal iş edijilik ukyby aşakdaka deň.

$$A_{\text{maks}} = P_0 F \Delta Z_{\text{maks}}$$

ΔZ_{maks} -serwomator porşeniniň maksimal süýşmesi.

Haçanda serwomator porşenini orta ýagdaýynda duran bolsa we hakykatda (9.21) deňligimizde her P_2 we P_1 basyşlaryň bahalary, zolotnigiň üsti bilen suwuklyk akymly drosserläp alyp bolar. R daşky güýjüniň gönümel zolotnikli serwomator işine täsirine seredeliň.

Deňagramlylyk güýç deňlemesi aşakdaky deňlik bilen kesgitlenýär.

$$P_h F = c z_1 \quad \text{ýa-da} \quad \Delta P_h F = c \Delta z_1$$

Aşak täsir edilen P daşky güýçleriň bar ýagdaýynda deňleme aşaky görnüşe geçýär.

$$P_x F = c \Delta z + R \quad (9.22)$$

R-iň dürli üýtgemegi P_h üýtgemeyän bahasynda. serwomator porşeniniň deňişli süýşmegine getiren we (9.22) deňlemämiz aşaky görnüşe geler.

$$P_x F = c \Delta z_1 + R_1$$

Birinji deňlemämizden ikinjini aýyryp alýarys.

$$C(\Delta z - \Delta z_1) = R_1 - R$$

Başgaça daşky güýçleriň dürli üýtgemegi serwomator porşeniniň süýşmegine getirer. Şonuň üçin şeýle serwomatorlary aralykda ýokarlandyryjy hökmünde ulanyp bolar. Pruzinli serwomatoryň meýdanly taraplary: suwuklyk basyşynyň ýiten mahalynda, turbina gelýän bugy serwomator ýapýar. Şuňa meňzeş serwomatorlary esasy edip ulanjak bolsaň bug klapanlaryny üýtgeýän goşmaça pružina berk soňky baglanşygy goýmaly, serwomator porşeniniň süýşmegini, zolotnige getirer ýaly.

Bug turbinalarynyň kondensasion gurallarynyň prinsipial shemasy. Kondensatoryň gurluşy.

Kondensator bu turbinada öz işini ýerine ýetiren bugy suwa (kondensata) öwüriji guraldyr. Bugyň kondensasiýasy kondensatorda kiçi temperaturaly üstlerde (bugyň doýma temperaturasyndan) bolup geçýär. Bugyň kondensasiýasy (suwuklygy bugartmak üçin berlen ýylylygy) ýylylyk bölüp çykarmak bilen bolýar, ýylylyk sowadyjy suw bilen aýlanýar.

Kondensatorlar sowadyjy sreda görä aşakdakylara bölünýär:

- 1) Suwly kondensatorlar (sowadyjy sreda suw).
- 2) Howaly kondensator (sowadyjy sreda howa).

Häzirki zaman bu turbinalarynda suwly kondensatorlar giňden ulanylýar. Howa kondensatorlarynyň konstruksiýasy örän kyn.

Bug turbinalarynyň kondensasion gurallary kondensatordan we onuň işlerini ýerine ýetiriji goşmaça enjamlardan durýar.

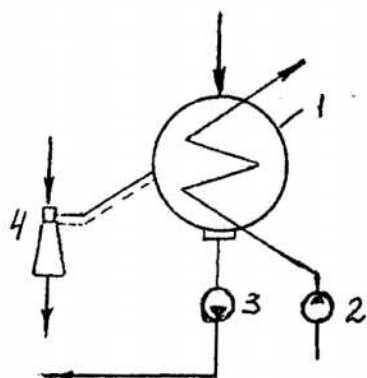
A-işlän bugyň giňelmesi.

B-bug howa garyndysyny sorulýan ýer.

W-sowadyjy suwuň girelgesi.

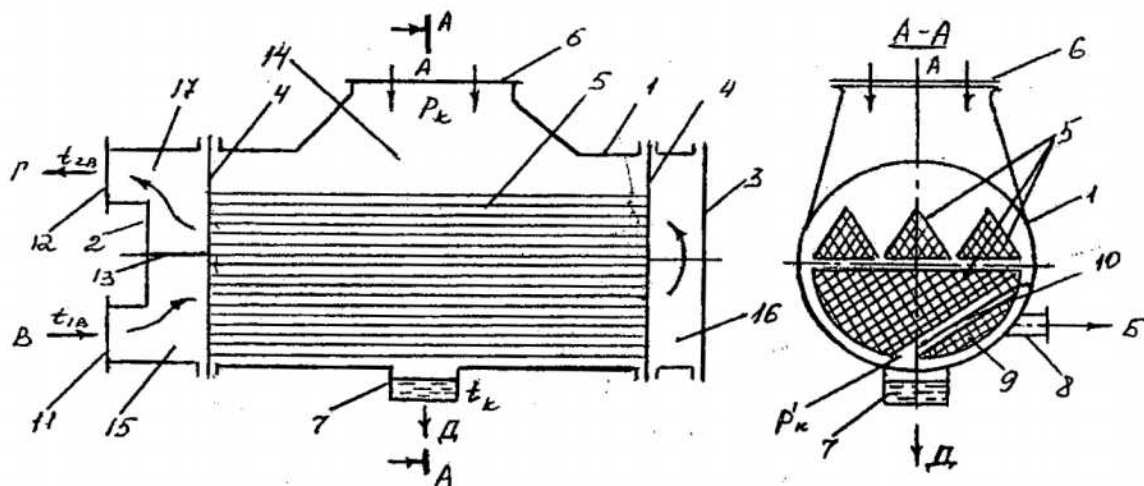
G-sowadyjy suwuň çykalgasy.

D-kondensat alynýan ýeri.



8.1-nji çyzgy. Kondensasion gurallaryň prinsipial shemasy.

1-kondensator, 2-sirkulýasion nasos, 3-kondensat nasosy, 4-howa soruj'y gural.



2-nji çyzgy. Iki gapdally üstli kondensator shemasy.

1-kondensator korpusy, 2-3-suw kornerasynyň gapagy, 4-turbaly doska, 5-kondensator turbalary 6-bug kabul ediji kamera, 7-kondensat äkidiji, 8-suw-bug garyndysyny sormak üçin patrubka, 9-howa sowadyjy, 10-bug gönükdiriji şit, 11-girelge patrubkasy, 12-çykalga patrubkasy suw üçin, 13-bölüji diwar, 14-bug giňişligi.

Kondensatordaky ýylylyk prosessi

Kondensatora arassa bug gelmeýär, bug bilen birlikde kondensirlenmedik gazlar bar (esasanam howa) bulara howa bug garyndysy diýilýär. Howa mukdaryny G_w , kondensirlenýän bugyň mukdaryna G_p bolan gatnaşygyna oňnositel howa saklaýjylygy diýilýär. E.

E-ýň bahasy kondensasion guralyna hyzmat edilişine montazynyň hiline onuň tipine, kuwwatlylygyna, konstruktiv ölçeglerine we başgalara bagly. Kondensatorda howanyň bolmagy onda bolup geçýän ýylylyk proseslere täsir edýär. Howanyň sorulmagy kondensatordaky parsial basyşa täsirini göreliň.

Kondensatora durnukly rezimde G_k bug we G_w howa bug gelýär, P_k basyşda.

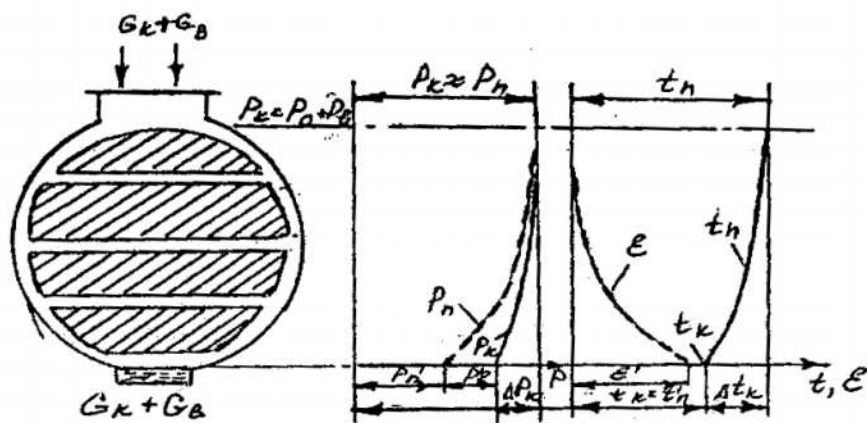
Kondensatorda hereket edýän howa-bug garyndysynyň Daltonyň kanunyny peýdalanyp: $P_k = P_p + P_w$ (8.1)

P_p -bug howa garyndysynda bugyň parsial basyşy.

P_w -howanyň parsial basyşy.

Howa bug garyndysy emele getirýän howa bug parametrleriniň arasyndaky baglanşygy häsiýetli deňlemeler bilen ýazylyar.

$$P_w V_w = G_w R_w T_w ; P_p V_p = G_p R_p T_p \quad (8.2)$$



8.3. -nji çyzgy. Kondensatorda howa-bug garyndysynyň parametrleriniň üýtgeýşi.
a) bugyň parsial basyşynyfi P_p we kondensatordaky P_k basyşynyň üýtgeýşi. b) bugyň temperaturasynyň we otnositel howa saklanylşynyň E üýtgeýşi.

Nirede V_w V_p T_w T_p kondensatorda akýan howanyň we bugyň göwrümi, temperaturasy.

$R_w=0,287\text{kJ/kg}$ k-gaz hemişelikleri.

$R_p=0,4618\text{kJ/kgk}$.

Alnandeňlemäni bölüp $V_w = V_p, T_w = T_p$ bolanda alýarys.

$$P_w / P_p = 0,622E \quad (8.3)$$

(8.1) we (8.3) deňlemelerimizi birlikde işläp, bugyň parsial basyşynyň P_p , kondensatordaky basyşdan P_k we otnositel howa saklaýjylygy E arasyndaky baglanşyklary alyp bolýar.

$$P_p = P_k / 1 + 0,622E \quad (8.4)$$

Kondensatora girelgede otnositel howa saklaýjy örän az, bugyň parsial basyşy bolsa, kondensatordaky basyşa deň. Howa bug garyndysynyň hereketi boýunça bug kondensirlenýär, otnositel howa saklaýjylygy E beýgelýär. Şu netijede bolsa bugyň parsial basyşy P_p deňlemä görä peselýär. Kondensatoryň aşaky böleginde basyş ýokary. ($P_k' < P_k$). Basyşyň kiçilemegi howa bug garyndysynyň akymynyň ýüze çykmagyna getirýär.

$\Delta P_k = P_k - P_k^I$ - kondensatora girelgede we çykalgadaky basyş tapawudyna kondensatoryň bug garşylygy diýilýär.

Kondensatora doýgun bug uly ýa-da kiçi çyglylyk derejesi bilen gelýär. Absolýut P_k basyş bilen kondensatordaky bugyň temperaturasynyň t_p arasyndaky termodinamiki baglanşyk bar. $T_p = f(P_k)$. bugyň kiçi parsial basyşyna P_p kiçi doýma temperaturasy degişli.

Parsial basyşyň kiçilemegi bilen kondensatorda bugyň kondnesasiýa temperaturasy kiçelýär. Sebäbi howanyň bolmagy we otnositel howa

saklaýjylygynyň artmagy hem-de kondensatorda bug garşylygynyň barlygy we umumy howa bug garyndysynyň basyşynyň artmagy bilen düşündirilýär. Esasanda kondensatoryň soňunda howanyň bug temperaturasyňa täsiri duýulýar.

Kondensasiýa prosessini iki bölege bölüp bolýar: birinji bug temperaturasyňa howanyň täsiri ýoklugy we ikinjiden howanyň täsiri uly bolmak bilen düşündirilýär.

Parsial basyşyň we doýgun bugyň temperaturasy kiçelmegi howanyň we kondensator bug garşylygynyň bolmagy kondensatoryň aşsowamagyna getirýär.

$$\Delta t_k = t_p - t_k$$

t_p -doýgun bugyň temperaturasy.

t_k -kondensatyň temperaturasy. (Pk) basyşda.

Kondensatyň aşsowadylmagy ýylylyk ýitgisine getirýär, (kondensaty gyzdirmek üçin köp ýylylyk sarp bolýar) esasanda kondensatda erän gazlaryň köpelmegi başlaýar, ol bolsa regeneratiw gyzduryjylaryň turbalarynda korroziýa emele getirýär.

Erän gazlaryň emele gelmegi: esasanda doýma temperaturasyndan aşak geçende gazlaryň eremegi bolup geçýär. Kondensatyň aşsowadylmagynyň önüni almak üçin howa sowadyjy oturdylýar.

Üýtgeýän rezimde turbinanyň işleýşi

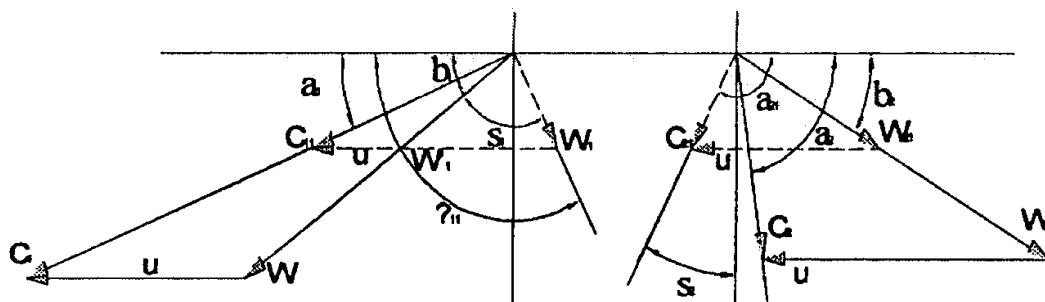
Turbinanyň profilieri we soplalar hem işçi gözenekleriň geometriki ölçegleri, olaryň her basgançaklary taslananda we taýýalananda hasaplanan rezim boýunça saýlanylýar we taýýarlanylýar. Berlen parametrlar boýunça, bug mukdary boýunça, doly ýylylyk tapawutlary boýunça, aýlanma ýygýlygy boýunça (we başgalar) saýlanylýar. Şu hasaplanan rezim boýunça bug akymynyň tizligi tapylýar, tizlik uçburçlygy gurulýar, reaktiwlik derejesi saýlanylýar. Şeýle hem basgançagyň PTK-sy kesgitlenýär. Espluatsiýa wagtynda turbinalar köplenç işe goýberilende we togtadylanda üýtgeýän bug mukdarynda, başdaky we ahyrky bug parametrlinde üýtgeýän ýagdaýlarynda işledilýär. Şeýle bolanda işçi pilçeleri duz ýapmagy we uzyn pilçeleriň döwürlemegi, mümkindir. Turbinanyň we onuň aýratyn basgançaklarynyň tygşytly we ygtybarly işlemekliginiň üýtgemegine dogry baha bermek üçin hasaplanan reziminden üýtgäninde hökmany ýylylyk we turbinanyň berklik hasaplamalaryny turbinanyň hemişelik profillerinde we soplalar hem işçi gözeneklerinde hemişelik geometriki ölçeglerde hasaplamalary geçirmelidir.

Üýtgeýän rezimde basgançagyň işi.

1. Turbinanyň nagruzkasy üýtgände, buguň mukdary, parametrleri nominal bahalaryndan üýtgände basgançagyň rezim häsiýetlerinden H_0 u/C_Φ , ρ we ş.m. hasaplanan bahalaryndan birnäçe esse üýtgäp biler.

Stasionar turbinaly, hemişelik aýlanma ýygylýgynda işleýän elektrostansiýalarda turbina nagruzkasynyň üýtgemegi bilen aýlanma tizlik hemişelik galýar. Şeýle bolanda ýylylyk tapawutlar her basgançakda dürli-dürli üýtgeýär. Has uly ýylylyk tapawudy iň soňky basgançakda we soplaly bug ýaýradýjyly turbinanyň sazlaýjy basgançagynda duş gelýär.

1. Ýylylyk tapawudynyň üýtgän mahalyndaky basgançagyň ýylylyk prosesine seredýäris. Seredilýän basgançagyň profil alnyş we soplala hem işçi gözenekleriň ölçegleriniň alnyş esasynda hasaplanan tizlik üçburçlyklary ýatyr (goýulandyr).



1-nji çyzgy. Hasaplanan rezimde we basgançagyň kiçeldilen ýylylyk tapawudynda tizlik üçburçlygy.

1-nji çyzgyda seredilen basgançagynyň soplala gönükdiriji pilçeleriniň ölçegleriniň we profilleriniň hasaplanan rezimdäki tizlik üçburçlygy göni çyzyklar bilen görkezilendir. Hasaplanmadyk rezimde basgançagyň ýylylyk tapawudy üýtgeýär peselýär diýip hasap edilýär. Şeýlelikde soplala gözeneginden akýan buguň absolýut tizligi kiçelýär $C_{11} < C_1$ we u/C_Φ tizlik gatnaşygy ýokarlanýar. İşçi pilçelere girelgedäki buguň otnositel tizligi W_{11} hasaplanan W_1 otnositel tizlikden kiçi bolýar, ilkinji ugrundan birnäçe üýtgeýär we işçi pilçelere girelgede otnisatel burç boýunça $\delta = \beta_1 - \beta_{11}$ hereket edýär, ýagny şu ýagdaýda bug akymy belli bir bölegi uçly pilçäniň arka tarapyna gidýär hem-de işçi pilçäniň kanallarynda örän köp energiýa ýitgisine getirýär we degişlilikde basgançagyň PTK-syny peseldýär. Şunuň bilen birlikde u/C_Φ tizlik gatnaşygynyň ýokarlanmagy reaktiwlik derejesiniň ýokarlanmagy bilen birlikde bolup geçýär. Reaktiwlik derejesiniň ρ tizlik gatnaşygyna u/C_Φ baglanşygy, u/C_Φ gatnaşygynyň uly

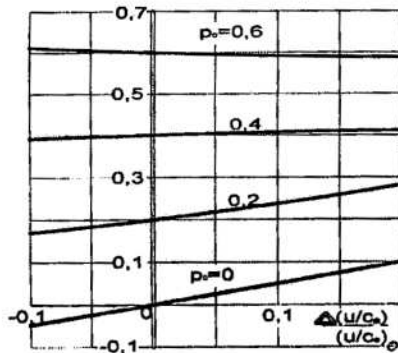
$$-0,1 < \frac{\Delta(u/C_\Phi)}{(u/C_\Phi)_0} < 0,2$$

bolmadyküýtgemelerinde: göni çyzyk

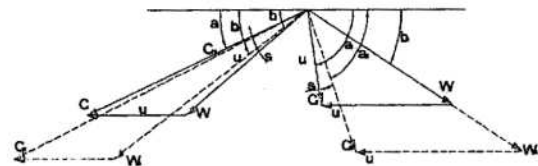
$$\frac{\Delta\rho}{1-\rho_0} = (0,5\rho_0) \frac{\Delta u/C_\Phi}{(u/C_\Phi)_0} \quad (1), 0$$

hökmünde almak mümkin

indeks bilen hasaplanan rezimdäki ululyklar görkezilen Δ bilen hasaplanan rezimden üýtgan ululyklar görkezilendir. Baglansyk grafıgi dürli başlangyç (hasaplanan) reaktiwlik derejeleri bilen 2-nji çyzygyda görkezilen hasaplanan reaktiwlik derejesi näçe kiçi bolsa onuň u/C_Φ üýtgemegine görä ýokarydyr. Hasaplanan reaktiwlik derej eleriniň dürli bahalaryna u/C_Φ tizlik gatnaşygynyň üýtgemegine baglylykda basgançagyň reaktiwlik derejesiniň üýtgemegi. (çyzygy 3.). Basgançagyň ýylylyk tapawudyny hasaplanan we ýokarlandyrylan bahalarynda tizlik uçburçlygy.



2-nji çyzygy. u/C_Φ tizlik gatnaşygyna baglylykda basgançagyň reaksiýa derejesiniň üýtgemegi



3-nji çyzygy. Basgançagyň ýylylyk tapawudynyň hasaplama we üýtgame bahasynda tizlik uçburçlygy.

(1) deňlemede energiýa we üznüksizlik deňlemeleriniň kömegi bilen alnan we yşlaryndan bug ýitigisine görä reaktiwlik derejesiniň üýtgemegi göz önüne tutmakdyr. Şu täsiri diňe yşlar kiçi bolanda aýyrmak mümkin we basgançagyň parsiallyk bire (1) deň bolan ýagdaýynda göz önüne tutmazlyk mümkindir. Ýokary yşlary bolan ýagdaýynda reaktiwlik derejesiniň ýokarlanmagy u/C_Φ -ň ýokarlanmagy bilen bug ýitgileriniň köpelmegine getirýär. Şonuň üçin reaktiwlik derej äniň hakyky ýokarlanmagy (1) formulada alynandakydan kiçidir.

Basgançagyň ýylylyk tapawudynyň kiçeldilmegi şeýle hem işçi pilçelerden çykýan bug akymynyň otnositel tizligi peselýär. W_{2t} , W_2 çykalgadaky bugyň absolýut tizligi C_{2l} we bahasyny kiçeltýär.

Bug akymynyň soňundaky basgançagyň sopl gözenekleriniň girelgelerine ugry otrisatel burç boýunça $\delta_2 = \alpha_2 - \alpha_1$ bolup geçýär, bu hem goşmaça ýitgileri döredýär, muny sopl gözenekleriniň girelgeleriniň egredilen görnüşini ulanmak bilen azaltmak mümkin.

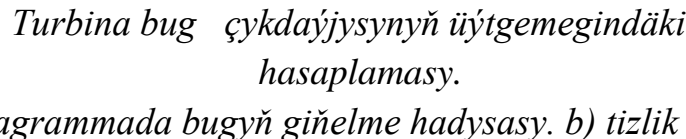
2. Indi beýleki ýagdaý, basgançagyň ýylylyk tapawudy hasaplananda rezimden uly bolan ýagdaýyna seredeliň. Şu ýagdaýda sopl gözeneklerinden çykýan bugyň absolýut tizligi ýokarlanýar ($C_{1t} > C_1$) (çyzgy 3.) we u/C_ϕ tizlik gatnaşygy peselýär. Şu ýagdaýda C_{11} tizlik ses tizliginden ýokarlanyp başlasa sopl gözeneginiň gyralaryndan bug akymy çykyp başlar. C_{11} tizligiň ýokarlanmagy β_{11} burçyň kiçelmegine getirer we akym işçi gözeneklere polozitel burç boýunça akar. Bu akymyň profili arka tarapyna geçmegine (aýrylmagyna) (omped) getirer we işçi gözeneklerde ýitgileriň köpelmegine getirer. Basyş işçi pilçeleriň önünde peseler, reaktiwlik derejesi ρ kiçeler, eger-de onuň hasaplanan bahalaryň onuň kiçi bolan bolsa otrisatel reaktiwlik ýüze çykar. Tizlik üçburçlygyndan görnüşi ýaly işçi gözeneklerden çykýan bugyň absolýut tizligi ($C_{21} > C_2$) ýokarlanýar we ugrynyň üýtgemegi soňundaky basgançagyň sopl gözenegine soňundaky basgançagyň sopl gözenegine polozitel burç boýunça akar.

Bu ýerde basgançagyň üýtgeýän iş rezimi hemişelik aýlanma ýygylgynda diňe üýtgemeklige ýylylyk tapawudy degişli edilip seredildi. Haçanda ýylylyk tapawudy üýtgemän hemişelik saklanylyp aýlanma ýygylgy üýtgedilende meňzeş netijeler alynar. Muňa düşünmek üçin tizlik uçburçlygy gurmak ýeterlikdir. (çyzgy 3.) Aýlanma ýygylgyny ýokarlandyrmak tizlik üçburçlygynyň üýtgemegine getirer, ýylylyk tapawudynyň peseldilen ýagdaýyndaky meňzeş üýtgame alynýar. Basgançagyň iş reziminiň üýtgemekliginiň onuň tygşylylygyna täsiri hasaplanan u/C_ϕ tizlik gatnaşygyna ρ_0 reaktiwlik derejesine we basyş gatnaşygyna $(\varepsilon_{ct})_0$ max sanlaryna M_{1t} , M_{2t} gözenekleriň saýlanylyşyna hem-de basgançagyň geometriki we konstruktiw häsiýetlerine bagly bolup durýar.

Hasaplanan rezimden üýtgemekligi basgançagyň tygşylylygyny we PTK-syny kiçeldip biler, eger basgançak max mümkin PTK-syny η_{0i} hasaplanan şertinde alýan bolsa, ýöne köplenç tygşylylygy ýokarlandyrmak, tehniki-ykdysady optimallaşdyrmak şertleriniň talaby boýunça PTK-nyň az üýtgemekligi nagruzkanyň giň diapazonlarynda hasaplana rezim ýokary PTK gabat gelmeýär.

3. Turbina bug çykdaýjysynyň üýtgemegindäki basgançagyň hasaplamasy.

Elektrik nagruzkasynyň grafikleriniň sutkalaýyn we hepdelik üýtgemeleri elektrostansiýalaryň bug turbinalary gündelik üýtgeýär, bug çykdaýjysyny giň çäklerde üýtgedýär. Elektrik ýüküniň irdenki we agşamky maksimumlarynda olar mümkin bolan maksimum bug çykdaýjylarynda işleýär, agşamky we dynç günlerindäki aşaklamalarda örän köp peseldilen bug çykdaýjylarda işleýär. Şonuň



a) *h-s* diagrammada bugyň giňelme hadysasy. b) tizlik uçburçlygy.

Hasaplanan G_0 bug mukdaryndan tapawutly G bug mukdarynda turbinadan çykýan bugyň basyşyny hemişelik hasaplanan baha deň ýa-da bug mukdaryna baglylykda berilip tapylýar.

P_1, θ_1 - soplá we işçi gözenekleriň arasyndaky ýşda basyş we udel göwrüm.

P_2, ϑ_2 - işçi gözeneklerin kanalyndan çykalgada basyş we udel göwrüm.

Turbinanyň iň soňky basgançagyndan soňra bug parametrlerini: P_2 , ϑ_2 , bug mukdary G we aýlanma ýygylýk berilen diýip hasap edýäris. Mundan başgada basgançagyň ähli geometriki häsiýetleri belli bolmalydyr: gözenekler, yşlar olaryň ölçegleri we ş.m. ýa-da basgançak işiniň hasaplanan reziminiň ähli berlenleri we geometriki häsiýetnamalary belli bolmalydyr.

97

diagrammada A nokada degişli hasaplaýarys. Sürtülme ΔH_T bugyň bölekleyin berilmegi bilen baglanşykly ΔH_{Π} ýitgileri kesgitlep we çykýan tizlikli ΔH_{BC} ýitgini öňünden bahalandyryp içki pilçeleriň kanalyndan çykýan bug haly B nokady tapýarys.

$$\Delta H_T, \quad \Delta H_{\Pi}, \quad \Delta H_{BC}, \quad B \quad p\nu = const$$

$$a = \sqrt{kp_{21}g_{21}} \approx const$$

$$p_{21}g_{21} = a^2 / k$$

$$\left(\frac{G}{F_2} \right)_{kp} = \frac{la}{g_{21}} \quad g_{21} = \frac{a}{(G/F_2)_{kp}}$$

$$P_{2kp} = \left(\frac{G}{F_2} \right)_{kp} \frac{a}{k} \quad (6.3)$$

$$\omega_{2t} = \frac{Gg_{2t}}{\mu_2 F_2} \approx (\omega_{2t})_0 \frac{G}{G_0} \frac{g_{2t}}{(g_{2t})_0} \quad (6.4) \quad \omega_{21} = \psi \omega_{2t}$$

$$\Delta H_{BC} = C_{21}^2 / 2 \quad \frac{\omega_{11}}{\omega_{21}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$H_{op} = \frac{1}{2} (\omega_{2t}^2 - \omega_{11}^2) = \frac{\omega_{2t}^2}{2} \left[1 - \left(\frac{\omega_{11}}{\omega_{2t}} \right)^2 \right] \quad (6.5)$$

$$\Delta H_p = \frac{\omega_{2t}^2}{2} (1 - \psi^2) \quad (6.6)$$

$$P_{1kp} = \left(\frac{G}{F_1} \right)_{kp} \frac{a_1}{k} \quad (6.7) \quad P_1 > P_{1kp}$$

$$c_{1t} = \frac{Gg_{1t}}{\mu_1 F_1} \approx (c_{1t})_0 \frac{G}{G_0} \frac{g_{1t}}{(g_{1t})_0} \quad (6.8) \quad P_1 < P_{1kp}$$

$$\frac{\sin(\alpha_1 + \delta_1)}{\sin \alpha_1} = \frac{\left(\frac{2}{k+1} \right)^{1/k-1} \sqrt{k-1}}{\sqrt{\varepsilon^{2/k} - \varepsilon^{k+1/k}}} \quad (6.9) \quad \varepsilon = \varepsilon_{kp} = \frac{P_1}{P_{1kp}}$$

$$c_{1t} = \frac{Gg_{1t}}{\mu_1 F_1 \frac{\sin \alpha_{1e} + \delta}{\sin \alpha_{1e}}} = (c_{1t})_0 \frac{G}{G_0} \frac{g_{1t}}{(g_{1t})_0} \frac{\sin \alpha_{1e}}{\sin(\alpha_{1e} + \delta)} \quad (6.10)$$

$$c_{11} = \varphi c_{1e}$$

Üýtgeýän bug berilmede we dürli buguň ýaýradylmasynda turbinadaky ýylylyk prosessi

Turbinadaky ýylylyk prosessiniň häsiýeti üýtgeýän rezimde bug ýaýradylşyna bagly ýagny turbina berilýän buguň üýtgedilmegine nähili ýetilýändigini görkezýär.

Bug turbinalarda bug ýaýradylşynyň üç usuly bar: droselli soplaly we aýlap degirmek.

Droselli bug ýaýradylmada hemme bug mukdary bir ýa-da birnäçe birlikde açylýan klapalar bilen sazlanýlýar, soňra umumy soplalar grupbalaryna barýar.

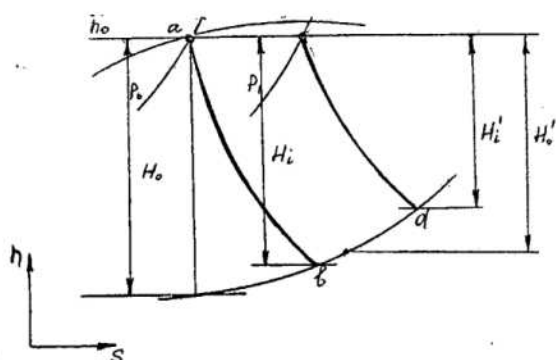
Soplaly bug ýaýradylmada bug birnäçe yzygiderli açylýan sazlaýjy klapalardan sazlanýlýar, olaryň her haýsy özüniň soplalar segmentlerine bug berýär.

Aýlap bug bermeklik öz gezeginde iki görnüşde bolýar: daşyndan aýlap bermek we içinden aýlap bermeklik.

Daşyndan aýlap bug berlende bug birinji basgançagyň soplalar gözeneklerine sazlaýjy klapalaryň doly açyk mahaly berilýär, soňra buguň mukdarynyň ýokarlanmagy aýlanyp geýýän klapalardan aralykdaky basgançaga birnäçe birinji basgançakdan soňra berilýär.

Köplenç ýokary basyşa we temperatura niýetlenilen turbinalarda içki aýlanyp geçme bug ýaýradylmasy ulanylýar, olarda sazlaýjy klapalaryň kamerasyndan birnäçe sazlanmaýan klapalardan aýlap bug soňky basgançaklara berilýär.

1) Droselli bug ýaýradylmagy.



*6-njy çyzgy. Droselli bug ýaýradylmada
h-s diagrammada buguň giňelme
prosessi. a-b droselli klapanyň doly açyk.
c-d droselli klapanyň bölekleyin açyk.*

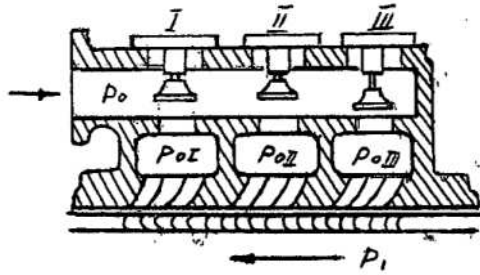
Kiçi bug berilmede PTK $\eta_{oi} = \frac{H_i'}{H_0}$

H_0 köpeldip alýarys. $\eta_{oi} = \frac{H_i' H_0'}{H_0' H_0} = \eta_{oi}' J_{dr}$

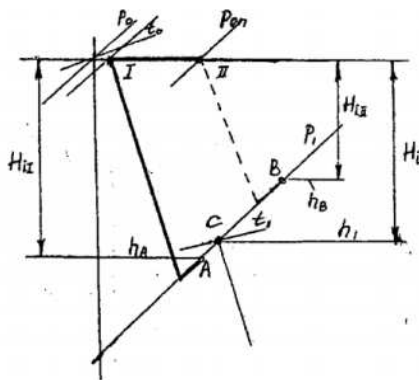
J_{dr} belli bolsa turbina kuwwaty aşakdaky ýaly tapylýar.

$$N_i = GH_0 J_{dr} \eta'_{os}$$

2) Soplaly bug ýaýradylmasy.



6-njy çyzgy. Soplaly bug ýaýradylmada turbinanyň sazlaýjy klapanlaryna bug berilme shemasy. 1-doly açyk, 2-3 bölekleyin açyk $P_0 = P_{ot}$



6.6-njy çyzgy. Sazlaýjy klapanda akym üçin bugyň giňelme prosessi.

Soplaly bug ýaýradylmanyň 2-3 klapanlarda bug drosellenýär. Sazlaýjy basgançagyň kamerasynda iki akymyň garyşmagy bolup geçýär. Garyşma entalpiýasy:

$$h_1 = \frac{G_A h_A + G_B h_B}{G_A + G_B} = \frac{G_A (h_0 - H_{il}) + G_B (h_0 - H_{ill})}{G} =$$

$$= h_0 - \left(\frac{G_A}{G} H_{il} + \frac{G_B}{G} H_{ill} \right)$$

G_A -doly açyk klapandan geçýän bug mukdary.

G_B -bölekleyin açyk klapandan geçýän drosellenýän bug mukdary.

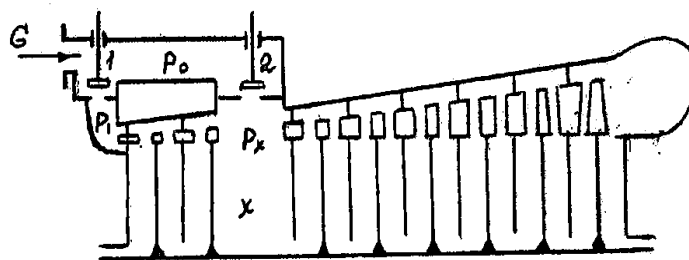
3) Aýlap (baýpasly) bug ýaýradylma

Aýlap bug ýaýradylma köplenç drosselli bug ýaýradylma bilen bilelikde ulanylýar.

Baýpasly (aýlap) bug geçirmek

Aýlap bug geçirmek köplenç drosselli bug ýaýratmaklyk bilen bolup geçýär. Ýöne köp halatlarda hususanda tygşyly kuwwatlylykdan ýokary turbina ýüklenende soplaly bug ýaýradylma bilen birleşdirilýär. Turbina aýlap bug

berilişiniň prinsipial shemasy 6.1.8 çyzgyda görkezilendir. Turbinanyň ähli basgançaklaryna dolylygyna bug berilýär ($e=T$).



6.1.8-nji çyzgy. Aýlap bugýaýradylýan turbinanyň shemasy.

Birinji basgançaga bug 1 klapanyň üstünden berilýär, birinji basgançagyň soplasyň önündäki basyş täze bug basyşyna deň bolýança drossel klapany ýaly işleýär. Haçanda birinji basgançagyň önünde täze bugyň basyşyna golaýla sanda aýlap geçirýän 2 klapany açylýar, ondan bugyň belli bir bölegi birinji basgançaklar toplumyndan ulanyp geçip gönümel üçünji basgançaga gönükdirilýär.

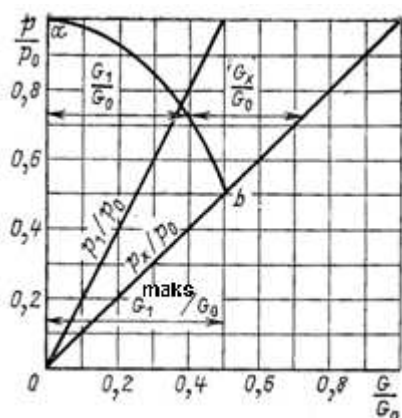
Üçünji basgançagyň geçelge kesikleri birinji basgançagyň kesiklerinden ýokary. Şonuň üçin 2 klapanyň açylmagy turbinanyň üstünden köp mukdarda bug geçirmeklige we turbinanyň kuwwatynyň ýokarlanmagyna mümkinçilik berýär.

Turbinanyň aýlap bug ýaýradylmagynda üýtgeýän nagruzkalarda bug akymynyň ýaýramagyna 6.19 shema laýyklykda seredýäris.

P_x -basyş (6.19) we (6.20) formula bilen kesgitlenilýär.

Eger-de birinji basgançagyň önünde täze bugyň basyşyna haýsyda bir otnositel bug mukdarynda $G_{x\text{maks}}/G_0$ ýetilse onda $P_x = P_{x0}$ ýokarda áydylyşy bolar, mundan beýläk mukdaryň köpelmegi 2 klapanyň açylmagy bilen üpjün edilýär. 2 klapanyň açylyşyna görä P_x basyş kamerada ýokarlanyp başlaýar, ol 1-nji sazlanýlan klapanyň üstünden geçýän G_1 bug mukdaryny azaltmaklyga getirýär. Birinji basgançaklar toparynyň üstünden geçýän bug mukdarynyň uluşini tapyp bolýar.

$$\frac{G_1}{G_1^{\text{maks}}} \sqrt{\frac{d_0^2 - P_x^2}{P_0^2 - P_{x0}^2}} \quad (6.30)$$



6.1.9. -nji çyzgy. Kondensasion turbinada aýlap bug ýaýradylýşynda bug mukdarynyň ýaýraýşy.

Aýlap bug geçirmekligiň diagrammasyndan görünýär, ýagny birinji basgançaklar tarapyndan geçýän bug mukdary

G_1^{maks} öz maksimumyna $P_0/P_1=1$ bolanda ýetýär, ýagny turbinanyň birinji basgançagyň önündäki P_1 basyş täze bugyň P_0 basyşyna deň bolanda ýetilýär.

Ikinji klapanyň açylyşyna görä onuň üstünden geçýän bug mukdary G_x artýar, şeýle hem P_x basyş ýokarlanýar degişlilikde birinji basgançaklar tarapyndan geçýän bug mukdary G_1 azalýar.

Ellips dugasy a-b umumy bug mukdaryny ikä bölüji duga, (6.30) formula goýunça G_1/G_0 otnositel bug mukdary dürli umumy geçirilmede diagramma goýulýar.

Aýlap bug geçirmekligiň hasaplamasynda we ekspluatasiýasynda birinji basgançaklar toparykdan geçýän bug ähli rezimlerde, 2 klapa doly açyk bolanda hökmany ýitgileriň netijesinde (sürtülme we wentilýasion) bölünip çykýan ýylylyfy aýyrmaga mümkinçilik bolar ýaly bolmalydyr. Yylylyk ýeterlik aýrylmadyk ýagdaýynda bugyň temperaturasy täze bugyň temperaturasyndanam ýokary galyp biler we birinji basgançaklaryň metallarynyň berkligini howply peselýär.

Aýlap bug geçirmeklikde turbinanyň içki kuwwatlylygy dürli bug mukdarlarynda aşakdaky ýaly kesgitlenip bilner. Ilki birinji basgançaklar toplumynyň önürti hasaplamasyny üýtgeýän bug berilmede onuň doly we peýdaly ýylylyk tapawutlarynyň seredýän basgançaklar toparymyzyň basyşynyň P_x täze bugyň basyşyna P_0 gatnaşygynyň baglanşygyny tapmaga mümkinçilik berýär.

X kamerada bug haly iki akym garyşandan soň, aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär.

$$h_{sm} = \frac{G_1 h_1 + G_x h_0}{G_1 + G_x} \quad (6.31)$$

G_1 -birinji basyş tarapyndan geçýän bug mukdary, entalpiýasy h_1

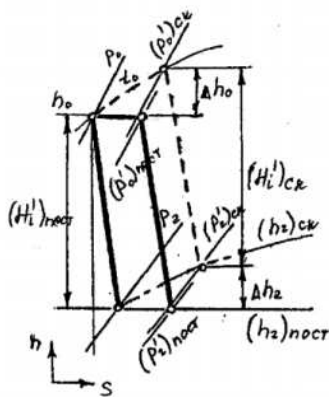
G_x -aýlanyp geçýän liniýadaky klapandan geçýän bug mukdary, entalpiýasy h_0

Soňky basgançaklaryň hasaplamasy turbinanyň drosselli bug ýaýradylyşy ýaly amala aşyrylýar. Bug mukdarynyň giň çäklerde üýtgemeginde aralykdaky basgançaklaryň peýdaly täsir koeffisiýenti hemişelik edip alynýar. Ýylylyk tapawudy we PTK turbinanyň üstünden geçýän bug üýtgände iň soňky basgançakda üýtgeýär.

Typýan basyş usuly bilen turbina kuwwatlylygynyň sazlanlyşy

Blokly naprýazeniýalaryň ýüze çykmagy bilen turbinanyň işe goýberilenligi bug gazanlarynyň işe goýberilmegi bilen bir wagtda ýagny typýan bug parametrlinde diňe bir wagtda ýagny typýan bug parametrlinde diňe aýlanma ýygylgy ýokarlandyrmak dälde, generatoryň sete birikdirilmegi we turbinanyň doly nagruzkasyny yzygider ulalýan basyşda amala aşyrylýar, sazlaýjy klapanalaryň doly açyk wagtynda.

Kuwwatlylyk bug ýaýradyjy klapanalaryň kömegi bilen sazlanýlanda bug gazan we täze bugyň ýylylyk geçirijileri hemişelik nominal basyşynda saklanýlar. Sazlamaklyk bug gazan kuwwatly amala aşyrylanda turbinanyň sazlaýjy klapanalary doly açyk we nagruzka täze bugyň basyşyna proporsionallykda üýtgeýär, uzak wagtlap kiældilen basyşda işlemegi bug gazanyň we ýylylyk geçirijileriň gyzdýryjy üstleriniň ygtybarlylygyny we köp hyzmat etmäge ukybyny ýokarlandyrýar.



6.25-nji çyzgy. Hemişelik we üýtgeýän başdaky basyşlarda droselli

Bug ýaýradyjyly kondensasion turbinanyň YBS-inde bugyň giňelme prosessiniň h-s diagrammasynda görkezilişi.

G we G/G_0 bug mukdarynda. $G/G_0=0,5$.

Bugyň başdaky parametrleriniň we a.a gyzdýrylmanyň temperaturasynyň bozulmagynyň turbina kuwwatlylygyna täsiri

Turbina işledilýän mahaly bugyň başdaky parametrleriniň nominal bahasyndan üýtgände kuwwatyň we turbina guralynyň peýdalylygynyň üýtgemegine getirýär. Şeýle hem aýratyn elementleriniň ygtybarlylygyny peseldýär. Şonuň üçin täze bug parametrleriniň üýtgemeginde turbinanyň sähelçe işlemegi hem ýörite hasaplamalardan soň ýa-da bug mukdaryny üýtgetmek ýoly bilen şeýle hem gerekli konstruktiw üýtgeşmelerden soň normal sert döredilende işledilýär. (amala aşyrylýar).

1) Başdaky bug basyşynyň täsiri.

Sazlaýjy klapanyň hemişelik açyk turbinanyň işleýşine seredeliň. Eger-de bugyň droselleniş faktoryny sazlaýjy klapanyň toparynyň doly açylmadyk ýagdaýynda otursak onda turbinanyň öňündäki bug nasosynyň P_0 nominal bahasyndan azajyk ΔP_a üýtgemegi hemişelik temperaturada (t_2 san t) turbinanyň içki kuwwatynyň üýtgemegine getirýär we aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$\Delta N_i = \frac{\partial (GH_0 \eta_{oi})}{\partial P_0} = \left(H_0 \eta_{oi} \frac{\partial G}{\partial P_0} + GH_0 \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial P_0} + G \eta_{oi} \frac{\partial H_0}{\partial P_0} \right) \Delta P_0$$

ýa-da

$$\Delta N_i / N_i = \left(\frac{\delta_p}{G} + \frac{\alpha_p}{H_0} + \frac{\gamma_p}{\eta_{oi}} \right) \Delta P_0 \quad (6.36)$$

$$\text{nirede } \delta_p = \frac{\partial G}{\partial P_0}; \quad \alpha_p = \frac{\partial H_0}{\partial P_0}; \quad \gamma_p = \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial P_0}$$

$\alpha_p, \delta_p, \gamma_p$ - turbina kuwwatynyň üýtgemesini görkezýän koeffisiýentler deňşililikde bug mukdarynyň üýtgemesinde ýylylyk tapawudynyň we içki otnositel PTK-nyň üýtgemesinde.

Inzener hasaplamalarynda şu koeffisiýentler üçin aşakdaky deňlikleri ulanyp bolýar:

$$\alpha_p = \frac{\partial H_0}{\partial P_0} = \frac{P_2 g_{2t}}{P_0}; \quad \delta_p = \frac{\partial G}{\partial P_0} = \frac{G}{P_0}; \quad \gamma_p \approx 0$$

α_p, δ_p koeffisiýentleriniň bahalaryny (6.36) deňlemä goýup, üýtgemelerinden soň

$$\Delta N_i / N_i = (1 + P_2 g_{2t} / H_0) \Delta P_0 / P_0 \quad (6.37)$$

(6.37) deňlemeden görünýär ýagny hemme bugy sazlanyp alynýan turbinalarda kuwwatyň üýtgemegi basyşyň üýtgemesine proporsional. Klapanyň doly açyk mahaly bugyň başdaky basyşynyň ulalmagy hemme turbina basgançaklarynyň artykmaç nagruzkada işlemegine getirýär, has-da iň soňky basgançak ýagny ondan soň hemişelik basyş saklanylýar. Şundaköp turbinalarda esasy howp işçi pilçede naprýazeniýa ýokarlanýar garşy basyşly turbinada bolsa iň soňky basgançagyň diafragmalarynda naprýazeniýa (täsir edýän güýç) ýokarlanýar. Turbina elementlerinde iş şertini döretmek üçin turbinaň üstünden geçýän bugy azaltmaly, basyş ýokarlanmazlygy üçin başdaky ýokary basyşda köp işledilende iň soňky sazlaýjy klapanyň ýoluny emeli çäklendirilýär, az wagtlaýyn işlese ýörite kuwwat çäklendirijileri goýulýar. Turbinanyň iş reziminde çäklendirijiler ulanylsa bug mukdaryny hasaplanan bahasyna ýetirip bolýar, ýagny sazlanylmaýan turbina basgançaklarynda nominal iş şertine getirýär. Şunlukda turbinanyň içki kuwwatlylygy aşakdaky ululyk ýaly ýokarlanýar.

$$\Delta N_i = G \Delta H^{rs} \eta_{os}^{rs}$$

ΔH^{rs} - sazlaýjy basgançakda goşmaça ýylylyk tapawudy.

η_{os}^{rs} - sazlaýjy basgançagyň otnositel içki PTK-sy.

Eger-de elektrik generatoryň şerüi ygtybarlylyk işine şeýle rezim bolýan bolsa, onda turbina üçin hem aşa nagruzka howply däl, ýagny sazlanylmaýan basgançak hasaplanan rezimde işleýär, sazlaýjy basgançaklaryň aşa nagruzkasy pes bir sazlaýjy klapanyň doly açyk normal basyşdaky basyş reziminden. Eger-de generator aý-da gyjyndyrma şertine görä götermeýän bolsa, nominal nagruzka ýetilýänçä bug mukdaryny azaltmaly. Şu ýagdaýda sazlaýjy basgançagyň kamerasynda bug basyşy azalar, bu bolsa sazlanylmaýan basgançagyň nagruzkasyny peseldýär we sorujy basgançagyň nagruzkada işlemegine getirýär. Hasaplamak rezim bilen deňşdireniňde ýöne şu üýtgame howply däl.

Ýokarlandyrylan başdaky bug basyşynda, sazlaýjy klapalaryň doly açyk reziminde bir sazlaýjy klapanyň açyk rezimi howply. Yagny şu ýagdaýda sazlaýjy klapana ýokary ýylylyk tapawudy ýetýär we işçi pilçeledrebüküjinapryazeniýany döredýär. Birinji klapanyň doly açyk bolanda, ikinji klapanyň basym açylmagy sazlaýjy basgançagyň kamerasynda basyş ýokarlandyrrar we şu rezimde doly ýylylyk tapawudyny kiçeltýär.

Turbinanyň sazlaýjy klapalarynyň doly açyk mahalynda bugyň başdaky basyşynyň peseldilmegi napiýazeniýaýokarlanmak howpuny döretmeýär, diňe täze bugyň iýmitlendirýän kömekçi enjamlarynyň normal iş şertini çäklendirýär.

Bug temperaturasynyň başdaky ýagdaýyndan Δt_0 üýtgemeginde we hemişelik başdaky basyşda turbina kuwwatynyň üýtgemekligi aşadaky ýaly tapmak mümkin.

$$\Delta N_i = \frac{\partial}{\partial t_0} (N_i) \Delta t_0 \quad (6.40)$$

Turbinanyň içki kuwwatlylygy

$$N_i = G H_0 \eta_{oi} = \frac{Q H_0 \eta_0}{h_0 - h_{nb}} \quad (6.41)$$

Buýerde Q -turbina desgasynyň ýylylyk mukdary, h_0 -täze bugyň entalpiýasy, h_{nb} -iýmitlendirji suwuň entalpiýasy.

Turbina kuwwatynyň deňligini (6.41), (6.40) deňlemä goýup differensirläp we özgerdip baglanşyk şertlerine görä bug temperaturasynyň üýtgemeginde otnositel kuwwat üýtgemesiniň dürli hasaplama deňlemelerini alyp bolýar.

1. Turbina desgasyna berilýän ýylylyk mukdarynda

$$Q = const$$

$$\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{1}{H_0} \frac{\partial H_0}{\partial t_0} + \frac{1}{h_0 - h_{nb}} \frac{\partial h}{\partial t_0} + \frac{1}{\eta_{oi}} \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial t_0} \right) \Delta t_0$$

ýa-da $\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{\alpha_t}{H_0} + \frac{\beta_t}{h_0 - h_{nb}} + \frac{j_t}{\eta_{oi}} \right) \Delta t_0 \quad (6.42)$

2. $F_u = \text{const}$ sazlaýjy klapanlar hemişelik açyk wagtynda

$$\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{1}{H_0} \frac{\partial H_0}{\partial t_0} + \frac{1}{\eta_{oi}} \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial t_0} + \frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial t_0} \right) \Delta t_0$$

ýa-da $\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{\alpha_t}{H_0} + \frac{j_t}{\eta_{oi}} + \frac{\delta_t}{G} \right) \Delta t_0 \quad (6.43)$

3. Hemişelik bug mukdarynda ($G = \text{const}$)

$$\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{1}{H_0} \frac{\partial H_0}{\partial t_0} + \frac{1}{\eta_{oi}} \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial t_0} \right) \Delta t_0$$

ýa-da $\frac{\Delta N_i}{N_i} = \left(\frac{\alpha_t}{H_0} + \frac{j_t}{\eta_{oi}} \right) \Delta t_0 \quad (6.44)$

Şu formulada $\alpha_t = \frac{\partial H_0}{\partial t_0}$ doly ýylylyk tapawudynyň üýtgemeginde kuwwat üýtgemäni göz önünde tutýan koeffisiýent, $\beta_t = \frac{\partial h_0}{\partial t_0}$ - başdaky temperaturanyň üýtgemeginde 1 kg bug öndürmeklige sarp bolýan ýylylygyň üýtgemegini göz önüne tutýan koeffisiýent, $j_t = \frac{\partial \eta_{oi}}{\partial t_0}$ - täze bug temperatursynyň turbinanyň içki otnositel PTK-syna täsirini göz önünde tutýan koeffisiýent, $\delta_t = \frac{\partial G}{\partial t_0}$ - bug mukdarynyň üýtgemeginde kuwwat üýtgemekligini göz önünde tutýan koeffisiýent.

Täze bug temperaturasyny ýokarlandyrmak aşakdaky hadysalary ýüze çykarýar:

1) Ýylylyk giňelmesine we deformasiýasynyň ýokarlanmagyna getriýär, turbinada sarsgynlygyň ýokary bolmagyna sebäp bolýar.

2) Metalyň berklik häsiýetleriniň peselmegine getirýär, onuň netijesinde pilçeleriň diske birikmeleriniň, turbinanyň ýokary böleginiň bolt birikmeleriniň gowşamagyna getirip bilýär.

3) Sazlaýjy basgançaklarda ýylylyk tapawudynyň ýokarlanmagy bilen pilçeleriň aşa ýüklenmede işlemegine getirýär.

Bugyň ýokarlandyrylan başdaky temperaturasynda turbinanyň işledilme meselesi ýokarky faktorlary hökmany göz önünde tutulyp çözülmelidir. Aýratynda bugyň başdaky temperaturasynyň ýokarlanmagynyň ýakymсыз soňy bolup poladyň

mekaniki häsiýetiniň peselmegidir. Meselem, 12X1MF turbogeçiriji poladyň temperaturasyň 20-5600 °C çenli üýtgände naprýazeniýesi 3 esse peselýär.

Bugyň ýokary temperaturasynda turbina materialy süýnme we relaksasiýa naprýazeniýesine sezewar bolýar. Süýnme täze bug geçirijilerde we a-o.g. geçirijilerden deametriň ýokarlanmagynda, klapan we zadwizka korpusynyň ölçegi üýtgände (pilçeleriň we beýleki elementleri) ýüze çykýar. Relaksasiýa naprýazeniýasy diskleriň we wtulkalaryň gowşamagynda, boltlarda we spilkelerde naprýazeniýanyň kiçelmegi bilen bolup geçýär.

Süýnmeklik deformasiýasy wagtyň geçmegi bilen köpeliýär, YB turbinalarda bug temperaturasyň çägi reglamentlenýär. Köplenç bugyň ýokary temperaturasynda turbinanyň işledilmegi bir ýylda 200-300 sagatdan ýokary bolmaly däldir. Şeýle hem bir gezek temperatura ýokarlandyrmagyň möhleti takyk reglamentirlenýär.

Bug täze temperaturasyň peseldilmegi turbinanyň soňky basgançaklarynda çyglylyk mukdarynyň köpelmegi bilen bolup geçýär, ol işçi pilçeleriň errozion iýilmeginiň ýokarlanmagyna getirýär.

Başdaky temperaturanyň peseldilmegi bilen doly ýylylyk tapawudy kiçelýär we degişlilikde turbina kuwwaty kiçelýär. Kuwwatyň dikeldilmegini turbina berilýän bug mukdaryny köpeltmek bilen amala aşyrylýar, ýöne bu turbinanyň uzynlygyna elementlerde naprýazeniýanyň ýokarlanmagyna, ok güýçleriniň ýokarlanmagyna we kondensasion turbinanyň ahyrky basgançagyň aşa ýüklenmede işlemegine getirýär. Şonuň üçin taýýarlaýjy zawodlar ýüklenmäniň hökmany çäklendirilmelerini (bugyň başdaky temperaturasy peseldilende) görkezilýär. Kiçeldilen bugyň başdaky temperaturasynda we üýtgemeyän bug mukdarynda turbina işledilse ähli basgançaklarda (sazlaýjy basgançakdan başgasynda) ýylylyk tapawudynyň peselmegi bilen bolup geçýär. Şunlukda hemişelik aýlanma ýygylygynda U/C_ϕ , ρ her basgançakda ýokarlanýar we podşipniklerde ok güýçlerini ýokarlandyrýar.

Bugyň ahyrky basyşynyň turbina kuwwatyna tasiri

Kondensasion turbinalaryň ekspluatasiýa prosesinde kondensatordaky bug basyşy ýylyň pasyllaryna görä, turbalaryň hapalanmagyna görä, kondensatoryň bug ýüküniň üýtgemegine görä, wakum sistemasynyň howa dykzlygynyň erbetleşmegine we beýleki kondensasion desganyň iş rezimine täsir edýän näsazlyklara görä üýtgeýär.

Bugyň ahyrky basyşynyň üýtgemeginde doly ýylylyk tapawudy, turbinanyň ahyrky basgançagyň içki otnositel PTK-sy, çykýan tizlikli ýitgi, kondensatora bug çykdaýjysy we bugyň ahyrky çyglylygy üýtgeýär. Bugyň ahyrky basyşynyň üýtgemekligi esasanda ahyrky basgançagyň iş reziminde bildirýär. Şunlukda ahyrky basgançagyň işleýşiniň iki mümkin ýagdaýyna bölmek bolýar: 1) Içki pilçelerden akýan bugyň kritiki tizlikden önki reziminde. 2) Goşmaça bug akymynyň tizlenmeginde ýokary kritiki reziminde işçi pilçeleriň gyalarynda.

Şu rezimleriň arasyndaky araçäkde durnuklaşan bugyň kritiki basyşy aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$P_{kr} \approx 0,328 \cdot 10^{-3} G_k / F_2 \quad (1)$$

Bu ýerde: G_k -kondensatordabug çykdaýjysy (kg/s), F_2 -ahyrky basgançagyň işçi pilçelerinden çykalgaýaky kesikde bokurdak meýdany (m^2).

Bugyň ahyrky basyşynyň üýtgemeginde turbina kuwwatynyň üýtgemekligi, ahyrky basgançagyň işçi gözeneginiň çykalga kesiginde ses tizligine ýetilendäki turbina kuwwaty bilen deňeşdirilip kesgitlenilýär. Şu rezimde basgançakdan soňky bug basyşy kritika deň: $P_{k0} = P_{kr}$.

Goý kondensasion turbinanyň ahyrky basgançagyň işi kritikiden önki rezimde bugyň ahyrky basyşy P_{k0} berlenden ýokarlanyndyr $\Delta P_{kr} = P_k - P_{k0}$, ýylylyk tapawut ΔH_0 kiçelipdir. Şu ýagdaýda bug çyglylygynyň üýtgemegine, çykýan tizlikli ýitginiň we iň soňky gyzdryjyda bug mukdarynyň üýtgemegine getirýär. Netijede turbinanyň içki kuwwatynyň doly üýtgemekligi:

$$\Delta N_i = N_i - N_{i0} = -(G_{k0} + \Delta G_k) \Delta H_i + \Delta H_{i0} \Delta G_k \quad (2)$$

Bu ýerde: H_{i0} -turbinaryň SND-sinde iň soňky bug alynmadan soňky basgançaklar toplumynda hasaplanan, rezimde peýdalanylan ýylylyk tapawudy, ΔH_i - ýylylyk tapawudynyň üýtgemegi, G_{k0} -başdaky berlen rezimde kondensatora bug çykdaýjysy, ΔG_k -kondensatora berilýän bugyň üýtgemegi.

Ýylylyk tapawudyň üýtgemekligi ΔH_i aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$\Delta H_i = (1 - X_{CP})(\Delta H_0 \eta_{oi} - \Delta H_{BC}) \quad (3)$$

Bu ýerde: η_{oi} - (içki otnositel PTK) P_k we P_{k0} izobaralarynyň arasynda bugyň çyglylygy we çykýan tizlikli ýitgilerini göz önünde tutmaýan prosesde, X_{CP} -bugyň ortça çyglylygy h-s diagramma boýunça kesgitlenilýär.

Çykýan tizlikli ýitginiň üýtgemegi:

$$\Delta H_{BC} = \frac{C_2^2 - C_{20}^2}{2} \quad (4)$$

C_2 -absolýut tizligiň ululygy basgançagyň çykalga tizük üçburçlygyndan ýada aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär.

$$C_2^2 = \omega_2^2 + 2u\omega_2 \cos \beta_2 + u^2$$

Bu ýerde: ω_2 - işçi pilçelerden çykalgada bugyň otnositel tizligi ($\omega_2 = G_k \vartheta_u / F_2$), β_2 – orta parametrde çykalga burçy.

Bug kondensatorda mukdarynyň üýtgemegi iň soňky regeneratiw gyzdryjyda bug mukdarynyň üýtgemegine deň.

$$\Delta G_k = \frac{G_{k0}}{h_{\pi} - h'_{\pi}} (h'_k - h'_{k0}) \quad (5)$$

Bu ýerde: h_{π} - alynýan bugyň entalpiýasy, h'_{π} - şol bugyň kondensatynyň entalpiýasy, h'_k - işlän bugyň kondensatynyň entalpiýasy.

Garşy basyşly turbinalarda bugyň ahyrky basyşynyň otnositel üýtgemekligi ýokary derejede onuň iş rezimine täsir edýär. Şeýle bolýandygy kiçi ýylylyk tapawudy bilen düşündirilýär. Şeýle hem sazlanylmaýan basgançakda kritiki tizligiň ýoklugy bilen düşündirilýär.

Garşy basyşyň ýokarlanmagynda turbinanyň içki kuwwaty (2) deňlik bilen kesgitlenilýär. Şu ýagdaýda ikinji ululygy nola deň bolýar, turbina berilýän bug mukdarynyň üýtgemekligi kritiki tizlikleriň ýok mahaly aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$\Delta G = G_0 \left(1 - \sqrt{\frac{P_0^2 - P_{z1}^2}{P_0^2 - P_{z0}^2}} \right) \quad (6)$$

Bu ýerde: G_0 -bugyň çykdaýjysy, P_0, P_{z0} -başdaky we ahyrky bug basyşy, P_{z1} -ahyrky bugyň basyşynyň üýtgän ululygy.

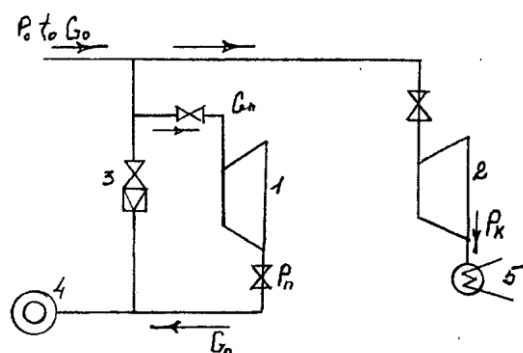
Orta parametrli turbinalaryň ählisinde kondensatordaky basyşyň $\pm 0,98 \cdot 10^{-3}$ MPa ($\pm 0,01$ kgs/sm²) üýtgemekligi ähli nagruzkada işlände-de kuwwatyň üýtgemekligine getirýär, takmynan nominal kuwwatdan $\pm 1\%$ üýtgeýär.

Işlän bugyň basyşynyň üýtgemekliginde turbina işledilende onuň ygtybarlylygyna täsir edýär. Kondensasion turbinalarda bugyň ahyrky basyşynyň ýokarlanmagy ahyrky basgançaklaryň ýylylyk tapawudynyň kiçelmegine getirýär. Şu basgançaklarda naprýazeniýa kiçelýär, reaktiwlik dereje ýokarlanýar, bu bolsa ok güýçleriň ýokarlanmagyna getirýär. Turbina wakумыň ýokary derejede peselmegi ýa-da ýokarlanmagy daýanç podşipnikleriniň ygtybarly işlemekligini peseldýär. Mundan başga-da wakумыň erbetleşmegi çykalga patrübkada temperaturany ýokarlandyrýar, agregatyň sentrowkasynyň bozulmagyny we rugsat çäğinden ýokary sarsgynlylygyny döredýär. Şonuň üçin bugyň ahyrky basyşynyň ýokarlanmagyndan we peselmeginden goraýjy oturdylýar.

Kondensasion turbinalarda bugyň ahyrky basyşynyň peselmegi hasaplanan rezim bilen deňeşdirilende ýylylyk tapawudynyň ýokarlanmagy bilen soňky basgançaklaryň artykmaç ýüklenmede işlemegine getirýär.

ÝYLYLYK WE ELEKTRIK ENERGIÝANY KOMBINIRLENEN GÖRNÜŞDE ÖNDÜRÝÄN TURBINALAR

Garşy basyşly turbinalar



1-nji çyzgy Garşy basyşly we kondensasion turbinaly desgalaryň prinsipial shemasy. 1-garşy basyşly turbina, 2-kondensasion turbina, 3-reduksion sowadyjy gural, 4-ýylylyk ulanyjy, 5-kondensator.

Shemada P tipli garşy basyşly turbina oturdylyan täze bug bug gazanyndan P_0 , t_0 parametrleri bilen turbina gelýär. Turbinada bug P_p ahyrky basyşa çenli giňelýär, soňra işlän bug ýylylyk sarp edijä barýar. Garşy basyşda işleýän turbinalar ýylylyk grafigi boýunça iş rezimi häsiýetlendirilýär, haçanda işlän bugyň mukdary ýylylyk sarp ediji bilen kesgitlenýär. Bug alynmadyk ýagdaýynda turbinalaryň elektrik kuwwatlylygy.

$$N_e = G_p H_0 \eta_{eg} \eta_m = G_p H_0 \eta_{oe} \quad (1)$$

N_e -turbinaryň elektrik kuwwatlylygy.

G_p -garşy basyşly turbinaryň üstünden geçip ýylylyk ulanyja berilýän bugyň mukdary.

H_0 -turbinadaky doly ýylylyk tapawudy.

η_{oe} -otnositel elektrik PTK-sy.

Otnositel elektrik PTK-a esasynda hemişelik parametrlerde turbinaryň üstünden geçýän G_p bugyň mukdaryna bagly bolup durýar, H_0 ýylylyk tapawudy üýtgemän galýar.

Şeýle-de garşy basyşly turbinalaryň öndürýän elektrik kuwwatlylygy üstünden geçýän G_p bugyň mukdary bilen kesgitlenilýär. G_p bugyň mukdaryny özbaşdak üýtgedip bolmaýar. Diňe ýylylyk ulanyjynyň grafigi boýunça ütgýär. Ýylylyk we elektrik nagruzkalarynyň grafikleri biri-birine gabat gelmeýär. Garşy basyşly turbina elektrik energiýasyny üpjün edip bilmeýär. Şonuň üçin garşy basyşly turbinalaryň ýanynda kondensasion turbinalar hem oturdylýar. Maksimal ýylylyk ýükleriniň maksimal sagatlarynda ýylylyk sarp edijä reduktoryň üstünden bug berilen. Eger-de turbinaryň üstünden geçirilýän bugyň ýylylyk sarp edijiniň maksimal bug mukdaryndan az bolan ýagdaýda amala aşyrylýar. Şeýle-de hem

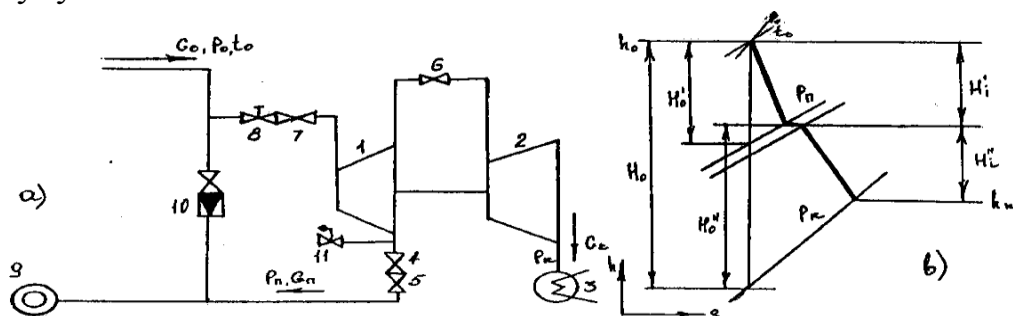
garşy basyşly turbina işlemedik ýagdaýda ýylylyk sarp edijä ROY-ň üstünden bug goýberip bolýar. Elektrik kuwwatlylygynyň dolulygyna ýylylyk sarp edijiniň ýylylyk grafiginiň üsti bilen öndürilmegi turbinanyň effektiw ulanylmagyna täsir edýär ýagny garşy basyşly turbinanyň oturdylan elektrik kuwwatlylygynyň ualnylmagy çäklendirilýär. Şonuň üçin garşy basyşly turbinalar giňden ulanylmaýar.

Aralykda bugy sazlanyp alynýan turbinalar

Bug sazlanyp alynýan kondensasion turbinalar bir wagtda daşky sarp edijileri elektrik energiýa we ýylylyk bilen üpjün edip bilýär. Şonuň üçin giňden ulanylýar. Garşy basyşly turbinalardan tapawutlylykda bugy sazlanyp alynýan turbina elektrik energiýanyň öndürilişi ýyl ýüküne bagly bolmaýar. Bugy sazlanyp alynýan turbinalar 2 bölekden durýar.

1) Bug alynmadan öň ýerleşen basgançaklar toplumyna ýokary basyşly bölegi diýilýär. (ÝBS)

2) Bug alynmadan kondensatora çenli basgançaklar köplüğine kiçi basyşly bölegi diýilýär.



2-nji çyzgy. Bugy sazlanyp alynýan turbina desgalarynyň prinsipial shemasy. 1-turbinanyň ýokary basyşly bölegi (YBS), 2-turbinanyň kiçi basyşly bölegi (PBS), 3-kondensatr, 4-geçiriji klap, 5-gaýtarmaýan klap, 6-sazlaýjy klap, 7-sazlaýjy klap, 8-stopor klap, 9-ýylylyk ulanyjy, 10-ROK (reduksion sowadyjy gural), 11-goraýjy klap.

Bir ýerinden bug sazlanyp alynýan turbinalaryň elektrik kuwwaty

$$\begin{aligned}
 N_d &= N_i \eta_{dr} \\
 N_i &= N_i^I + N_i^{II} = G_0 (h_0 - h_{II}) + G_k (h_{II} - h_k) = \\
 &= G_0 H_0^I \eta_a^I + G_{II} H_0^{II} \eta_a^{II} = G_{II} (h_0 - h_{II}) + G_k (h_{II} - h_k) = \\
 &= G_{II} H_0^I \eta_a + G_k H_0^{II} \eta_a \quad (2)
 \end{aligned}$$

(2) deňlemiden G_k aýyryp bugy sazlanyp alynýan turbin barýan täze bugyň mukdary.

$$G_0 = \frac{N_i}{h_0 - h_k} + G_{\Pi} \frac{h_{\Pi} - h_k}{h_0 - h_k} = \frac{1}{H_i} (N_i + G_{\Pi} H_i^{11}) =$$

$$= \frac{1}{H_i} [N_{\delta} \eta_m \eta_{\delta T} + G_{\Pi} H_i^{11}] \quad (3)$$

Şeýlelikde turbina berilýän täze bugyň mukdaryny bir ýerinden bug sazlanyp alynanda elektrik kuwwatyna we ýylylyk ulanyja berilýän bugyň mukdaryna bagly bolup durýar.

$$G_0 = f(N_{\delta}, G_{\Pi})$$

Bug sazlanyp alynýan turbinalaryň birnäçe aýratynlyklary bar.

1. Bug sazlanyp alynýan turbinalaryň iş reziminiň birnäçe mümkinçilikleri bar. Ýylylyk nagruzkasyna baglylykda iki topara bölünýär: kondensasion we teplofikasion.

2. Turbinanyň iş reziminiň köpdürliligi bug mukdarynyň ýokary diapazon aralykda üýtgemegini kesgitleýär. Şonuň üçin turbinalarda soplaly bug ýaýradyjy ulanylýar.

3. Bug sazlanyp alynýan turbinalarda hemme bug akymy sazlanýlar, ýöne ýylylyk ulanyjy berilýän bug hemişelik saklanýar, kuwwata we bug mukdaryna garamazdan.

Bug sazlanyp alynýan garşy basyşy turbina

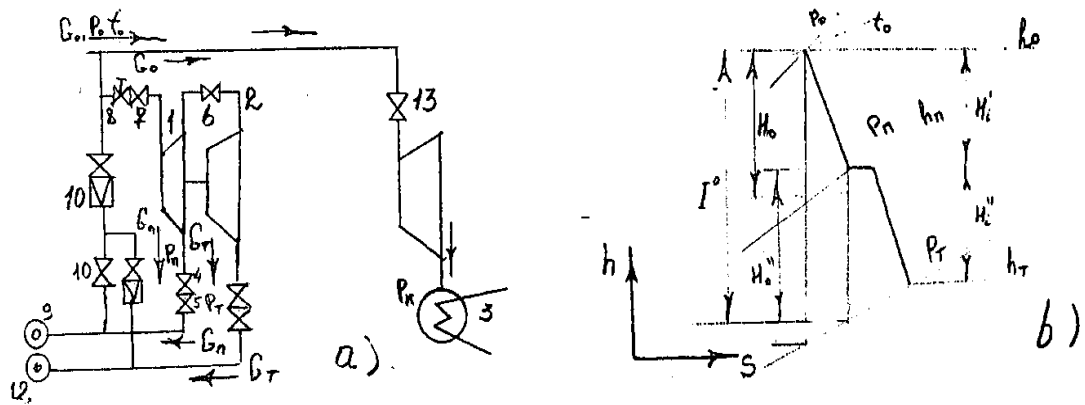
Bug sazlanyp alynýan garşy basyşly turbina PR tipli YEM-de ýylylyk ulanyjylara 2 dürli basyşly bug gerek bolanda gurulýar.

Bug sazlanyp alynýan we garşy basyşly turbinanyň işçi kuwwatlylygy ulanyjylaryň ýylylyk ýükleri bilen kesgitlenilýär.

$$N_i = \frac{N_{\delta}}{\eta_M \eta_{\delta 1}} = G_0 (h_0 - h_{\Pi}) + G_T (h_{\Pi} - h_T) =$$

$$= G_0 H_0^I \eta_{oi}^I + G_T H_0^{II} \eta_{oi}^{II} \quad (4)$$

Bug sazlanyp alynýan garşy basyşly turbina ýylylygyň 2 görnüşini ulanyjylaryň ýylylyk grafikleri boýuça işlände peýdaly ulanylyp bilner. Şeýle turbinalar bilen bilelikde kondensasion turbinalar oturdylýar. Yagny olar elektrik ýüklerini ýapmak üçin ulanylýar.

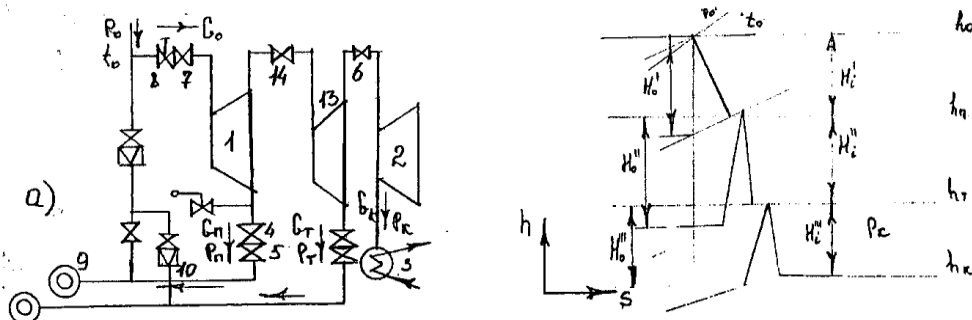


3-nji çyzgy. Bugy sazlanyp alynýan we garşy basyşly turbinaly desgany prinsipial shemasy (a) we h - s diagrammada bugyň giňelme hadysasy. 1-turbinanyň ýokary basyşly bölegi, 2-turbinanyň kiçi basyşly bölegi, 3-kondensator, 4-geçiriji klap, 5-gaýtarmaýan klap, 6-7-bilelikde sazlaýjy klap, 8-stopor klapy 9-ýokary potensially ýylylyk ulanyjy, 10-reduksion sowadyjy gural. 11-kiçi potensially ýylylyk ulanyjy, 12- kondensasion turbina.

Bugy sazlanyp alynýan we garşy basyşly turbina düýpli ýetmezçiligi bolup ýylylyk nagruzkalary doly bolmadyk ýagdaýda elektrik enjamlary dolulygyna peýdalanylmaýar.

Iki ýerinden bug sazlanyp alynýan turbinalar

Bir wagtyň dowamynda 2 dürli bug parametrleri ýylylyk ulanyjylary üpjün etmek üçin bugy sazlanyp alynýan garşy basyşly turbinalardan has amatly 2 ýerinden bugy sazlanyp alynýan PT tipli turbinalar ulanylýar. Şeýle tipli turbinalar 3 sany özbaşdak otseklere bölünýär: Önümçilik bug alynmadan oň ýerleşen basgançaklar köplüğine ýokary basyşly bölegi (ÇWD); bug alynmalarynyň arasyndaky basgançaklar köplüğine orta basyşly bölegi (ÇSD), teplofikasion bug alynmadan konadensatora çenli basgançaklar köplüğine (ÇND) diýilýär.



4-nji çyzgy. Iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň a) prinsipial shemasy we b) h - s diagrammada 1 kg bugyň giňelme hadysasy.

Täze bug mukdary G_0 mukdarda we P_0 t_0 parametrli YBD-ä barýar. YBD-de P_n basyşa çenli giňelýär. Bu ýerde bugyň G_n mukdary önümçilik ýylylyk ulanyjy üçin alynýar. Soňra bug $G = G_0 - G_n$ mukdarda 14-nji sazlaýjy klapandan geçip 13-nji orta basyşly bölegine barýar ol ýerde P_1 basyşa çenli giňelme bolup geçýär hem-de G_1 mukdarda teplofikasiýa bug alynýar. (kiçi potensially ýylylyk ulanyjy). Buguň galan bölegi $G_0 = G_n - G_T$ mukdarda 2-nji kiçi basyşly bölegine barýar. Ol ýerde kondensatordaky P_1 basyşa çenli giňelme hadysany bölüp geçýär. Iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň beýleki enjamlary edil bir ýerinden bug sazlanyp alynýan turbinanyň işleýşine we belgilenşine meňzeşdir. (çyzgy 2.) Iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň regenerasiýa bug alynmalary göz önüne tutulmazdan öndürýän içki kuwwatlylygy N_i ähli bölekleriň kuwwatlyklarynyň jemi hökmünde kesgitlenýär.

$$N_i = \frac{N_{\partial}}{\eta_M \eta_{\partial 1}} = N_i^I + N_i^{II} + N_i^{III} =$$

$$= G_0 H_0^I \eta_{oi}^I (G_0 - G_n) H_0^{II} \eta_{oi}^{II} + (G_0 - G_n - G_T) H_0^{III} \eta_{oi}^{III} \quad (5)$$

(5) deňligi G_0 otnositellikde işläp iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbina üçin bug çykdaýjysyny kesgitleýäris.

$$G_0 = \frac{N_2}{H_0 \eta_{oi} \eta_M \eta_{\partial V}} + G_n \frac{H_0^{II} \eta_{oi}^{II} + H_0^{III} \eta_{oi}^{III}}{H_0 \eta_{oi}} + G_T \frac{H_0^{III} \eta_{oi}^{III}}{H_0 \eta_{oi}} \quad (6)$$

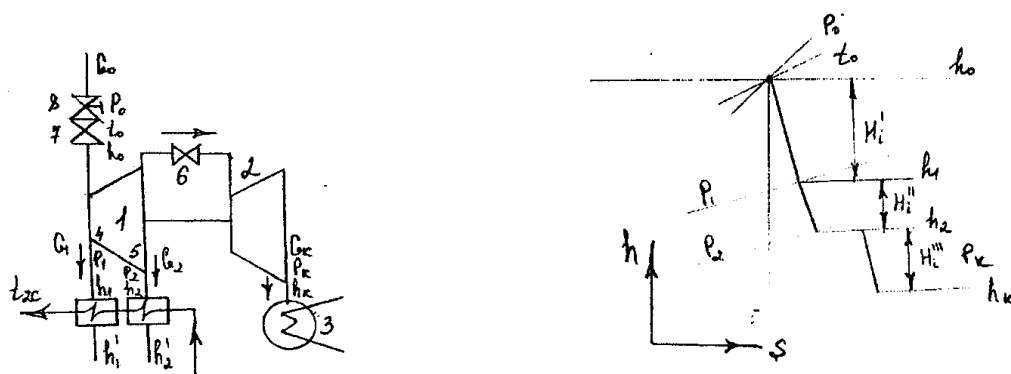
(5) we (6) deňliklerde aşakdaky ululyklar ulanylandyr. Soňra $N^I N^{II} N^{III}$ - ÇWD, ÇSD, ÇND-de içki kuwwatlyk.

H_0, H_0^{II}, H_0^{III} -turbinaryň ýokary basyşly böleginiň orta basyşly böleginiň kiçi basyşly böleginiň doly ýylylyk tapawutlary ÇWD, ÇSD, ÇND-iň.

$\eta_{oi}, \eta_{oi}^I, \eta_{oi}^{II}, \eta_{oi}^{III}$ - otnositel içki PTK-lary.

Iki ýerinden ýyladyşa bug saýlanyp alynýan turbinalar

Häzirki zaman kuwwaty 50 Mwt we ondan ýokary teplofikasion turbinalarda set suwuny basgançaklaýyn gyzdirmek üçin 2 ýerinden ýyladyşa bug saýlanyp alynýar, yzygider ýerleşdirilen birnäçe gyzdyyrjylarda amala aşyrylýar. Alynýan bugyň gerekli basyşy gyzdyyrlmanyň her basgançagynda soňra suwuň temperaturasy bilen kesgitlenilýär. Set suwuny gyzdirmek üçin turbina barýan bugyň 70-80%-i peýdalanylýar. Gyzdyyrlma temperaturalary her basgançakda 40-50°C-a deňdir.



5-nji çyzgy. Iki basgançakly ýyladyşa bug alynýan turbinanyň (a) prinsipial shemasy we (b) h-s diagrammada bugyň giňelme hadysasy. I-turbinanyň ýokary basyşly bölegi, 2-turbinanyň kiçi basyşly bölegi, 3-kondensator, 4-ýyladyşa ýokary bug alynma, 5-ýyladyşa aşaky bug alynma, 6-sazlaýjy organ, 7-sazlaýjy klapany, 8-stopor klapany, 9-gyzdyryjy (boýler), 10-gyzdyryjy set suwuny (boýler).

Täze bug stopor we sazlaýjy klapalaryň üsti bilen G_0 mukdarda P_0 , t_0 , h_0 parametrlerde turbina berilýär. Turbinanyň ýokary basyşly böleginde ýyladyşa aşaky bug alynma basyşyna çenli giňelýär we soňra sazlaýjy organlaryň üsti bilen turbinanyň kiçi basyşly bölegine gönükdirilýär. Ýyladyşa ýokarky bug alynma G_1 bugyň mukdarynda P_1 basyşda we h_1 entalpiýada alynýar. Aşakdaky bug alynmada bugyň mukdary G_2 parametrleri P_2 , h_2 . Turbinada diňe bir sazlaýjy klapany turbinanyň kiçi basyşly böleginde ýerleşdirilendir. Sazlanylýan basyş bir wagtda 2 ýyladyş bug alynmalaryň biri bilen goldanylyp biliner:

Ýokardakyda: 2 bug alynmalaryň açyk wagty.

Aşakdakyda: aşaky bug alynma açyk wagty set suwuny gyzdyrmak üçin desga 2 sany üst tipli gyzdyryjylardan (boýlerden) durýar. Ulanyjylar iberilýän set suwunyň temperaturasy ýokarky bug alynmalaryň basyşy bilen kesgitlenilýär. Ýylylyk ýükleriniň ýokarky we aşaky bug alynmalaryň arasynda ýaýradylmagy set suwunyň gyzdyryjylardan öň we soň temperaturasy, set suwunyň mukdary we elektrik ýüki bilen kesgitlenilýär. Iki ýerinden ýyladyşa bug alynýan turbinanyň regenerasiýa göz önüne tutulmadyk ýagdaýda N_i içki kuwwatlylygy aşakdaky deňlik bilen kesgitlenilýär.

$$N_i = \frac{N_{\partial}}{\eta_{\partial\nu}\eta_M} = G_0 H_i^I + (G_0 - G_1) H_i^{II} + (G_0 - G_1 - G_2) H_i^{III} \quad (7)$$

Turbinanyň ýylylyk ýüki:

$$Q_T = W_C C_b (t_{2c} - t_{1c}) = G_1 (h_1 - h_1^I) + G_2 (h_2 - h_2^I) \quad (8)$$

(7) we (8) deňliklerde aşakdaky ululyklar ulanylýan.

G_0, G_1, G_2 -turbina bug alynmalaryň ýokary we aşaky gyzdyrylma berilýän bugyň mukdary, (kg/sek)

H_i, H_i'', H_i''' -ýokary bug alynma çenli bug alynmalaryň arasyndaky we turbinanyň kiçi basyşly bölegindäki basgançaklary ýylylyk tapawutlary. kD/kg W_c set suwunyň mukdary (kg/sek).

$C_b = 4,9(\text{kJ} / \text{kg}^\circ\text{C})$ -set suwunyň ýylylyk sygymy.

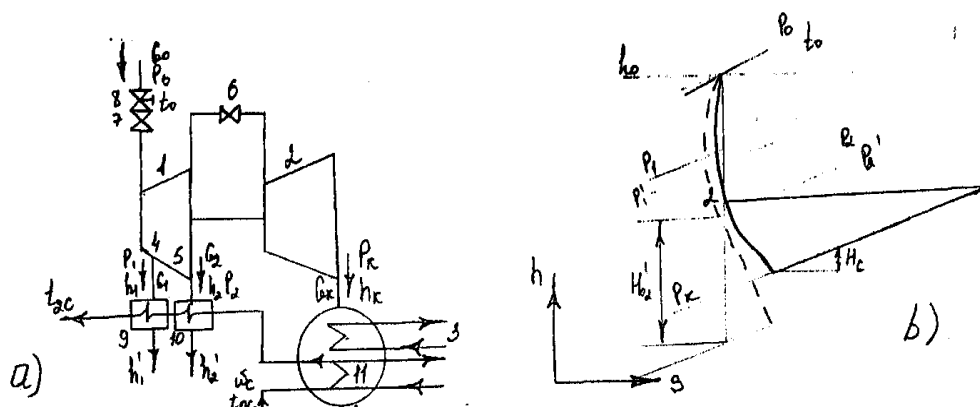
t_{1c}, t_{2c} - set suwunyň gyzdýryjydan öň we soň temperaturasy.

h_1, h_2 - ýyladyşa bug alynmalardaky buguň entalpiýalary (kJ/kg)

Teplofikasiýa turbinalarynyň kondensatorynda oturdylan turbalar bogdagyny ulanmaklyk

Bug sazlanyp alynýan turbinalaryň ýylylyk nagruzkadaky iş reziminde bug goýberilmän durmaýar. Minimai bug goýberilme turbinanyň pes basyşly böleginiň basgançaklaryny sowatmaklykda ulanylýar, turbinanyň konstruksiýasy we iş rezimi (wakum, bug alynmadaky basyş) bilen kesgitlenilýär. Kondensator bereln bugyň ýylylygy sirkulýasion suwa berilýär we ES-nyň aýlawynda peýdalanylmaýar. Şeýle hem sink suwa ýylylyk çalşyryjylara berilýän bugyň ýylylygy resirkulýasiýa liniýasynda ýerleşýän salnik gyzdýrylanda we ezektor sowadyjylardan bug ýylylyklary berilýär. Şu ýylylyklary peýdalanmak (itilizasiýa) üçin kondensatora maksimal bug berilendäki ýylylyk bilen ölçenilýär, şeýle-de kondensatoryň üst meýdanynyň belli bir bölegine ýöriteleşdirilen teplofikasion bogdak oturdylýar. Bogdagyň turbajyklaryna sirk suwlaryň we ýylylyk setiniň suwlaryna gelmegi göz önünde tutulýar. Oturdylan bogdagyň üst meýdanyny kondensatoryň üst meýdanynyň 15%-ni tutýar.

Oturdylan bogdakly kondensatoryň konstruksiýasy özbaşdak suw kameraly es bug giňişliginiň üsti bilen umumylaşdyrylan görnüşinde kuwwaty 50 Mwt we ondan ýokary teplofikasion turbinalaryň çözgütleri bolup durýar.



6-njy çyzgy. Iki basgançakly bug alynýan we oturdylan teplofikasion bogdakly turbina desgasynyň (a), h -s diagrammada bugyň giňelmegi (b) kondensasion rezim.

Kondensatorynda teplofikasion bogdak orudylan turbina desgasyňyň shemasynda kondensatoryň esasy turbajyklaryna diňe sirkulýasion suwuklygyň berilmegi göz önünde tutulan.

Oturdylan bogdaga II sirkulýasion suwuň we set suwunyň berilmegi göz önünde tutulandyr. Turbina desgalarynyň beýleki enjamlary 5-nji çyzgydaky iki ýerinden ýyladyşa bug alynýan turbina desgalarynyňka meňzeşdir.

Kondensasion reziminde elektrik energiýasynyň öndürilmegine es we oturdylan bogdaklara sirk suwunyň berilmegi bolup geçýär. Ýylylyk grafiki boýunça işledilende es oturdylan bogdaklara sirkulýasion suwuň berilmegi kesilýär we oturdylan bogdak set suwunyň kömegi bilen sowadylýar. Şu ýagdaýda turbinanyň pes basyşly silindrine berilýän bugyň mukdary azalýar we turbina garşy basyşly turbinalaryň rezimine meňzeş işleýär. Bir wagtda ýylylyk we elektrik nagruzkalarynyň garaşsyz işlemeklik mümkinçiligi ýitýär, ýagny turbinanyň elektrik kuwwatlylygy şu iş reziminde ýylylygyň bahasy we parametri bilen kesgitlenilýär. Turbinanyň oturdylan bogdaklary peýdalanýan iş rezimine geçmegi basgançaklarda bug alynmalarda basyşyň we ýylylyk tapawudynyň täzedan ýaýradylmagyna getirýär.

Turbinanyň ýokary basyşly böleginde oturdylan bogdaklaryň açylan ýagdaýynda iş rezimine bug akymalaryndaky basyş ýokarlanýar. ($P_1 > P_1'$) ($P_2 > P_2'$) ol hem bug akymynyň kuwwatyny azaldýar. Turbinanyň kiçi basyşly böleginde kondensatordaky wakumyň erbetleşmegi bilen doly ýylylyk tapawutlary kiçelýär ($H_{02}' > H_{02}$) we onuň basgançagy ýokary U/C_i , tizlik gatnaşygyna işleýär hem-de kiçi PTK-ly bolýar. Käbir ýagdaýlarda UHD-ki ebergiýa ýitgileri doly ýylylyk tapawutlardanam ýokary we onda UHD-e basgançaklary otrisatel PTK-ly işleýär hem-de kwat sar edýär. (1 -2) çyzgy şeýle rezimlerde ÇHD-niň üstünden geçýän bugyň temperaturalarynyň ýokarlanmagy bilen turbinanyň çykalga patrublikalarynyň temperatura rezimi ýaramazlaşýar.

Rezim diagrammalary.

Umumy ýagdaýda rezim diagramma grafiki formada turbinanyň kuwwatynyň bug mukdarynyň ulanyjylaryň ýylylyk ýükleriniň ulanyjlara goýberilýän bugyň basyşynyň täze bug parametrleriniň sowadyjy suwuň we turbinanyň beýleki iş rezimini kesgitleýji ululyklaryň arasyndaky baglanşyklary görkezýär.

$$F(N_e, G_o, G_{\Pi}, G_T, P_{\Pi}, T_T W_c \dots) = 0$$

(9) deňligi grafiki giňişlikde üýtgeýän ululyklar 3-den köp bolmadyk ýagdaýynda görkezmek mümkindir. Başgaça giňişlikde rezimler diagrammasyny görkezmeklik golaýlaşdyrylan baglanşyk bilen çalşyp almak mümkindir ýagny diagramma ýalňyşlyk (9) deňlikdäki üýtgeýän ululyklary näçe köp bolsa şonçada

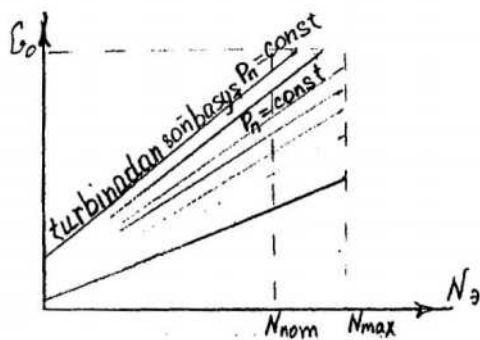
ýokarydyr. Şonuň üçin rezim diagrammada bagly däl parametrleriň sanyny çäklendirmek maksada laýykdyr. Rezim diagrammalaryň ahyrky takyklygyny üpjün etmek üçin birnäçe özbaşdak grafikler ýerine ýetirilýär. Rezim diagrammasy diýip atlandyrylýan es grafigi turbina kuwwatynyň we bug mukdarynyň arasyndaky baglanşygy görkezýär. Rezim diagrammasyna goşmaça düzediji egriler (poprawoçnyý kriwoý) diýip atlandyrylýan grafikler (9) deňlikdäki her bir parametriniň üýtgemekliginiň turbina kuwwatyna bolan täsirini kesgitleýär. Şeýle hem rezim diagrammasyna kömekçi egri çyzyklar girýär: iýmitlendiriji suwuň temperaturasynyň täze bug çykdaýjysynda baglanşygyny, bug alynmalaryň mümkin bolan minimai basyşynyň bugyň mukdaryna baglanşygyny görkezmek mümkindir. Es diagramma üýtgeýän ululyklaryň sanynyň çäklendirilmegi üçin ýokary takyklykda ýerine ýetirilýär. Goşmaça düzediji egri käbir ýalňyşlyk bilen ýerine ýetirmek mümkindir. Yöne goşmaça düzediji egrileriň ýalňyşlygy ujypsyzja umumy rezim diagrammasynyň ýalňyşlygyny ýokarlandyrýar. Düzediji absolýut ululyk turbinanyň umumy kuwwatynyň belli bir göterimini tutýar. Rezim diagrammasynyň bolmagy (9) deňlemedäki parametrleriň arasyndaky baglanşyklary grafiki görmäge mümkinçilik berýär we turbina desgasynyň iş reziminiň mümkin bolan oblastlaryny görmäge mümkinçilik berýär. Görkezilen şeýle hem ulanmaga amatly kesgitlemekde takyklygy ýylylyk elektrik stansiýalaryň işledilmeginde we taslanylmagynda giňden ulanylýar.

P tipli garşy basyşly turbinanyň rezim diagrammasy.

Rezim diagrammada G_0 täze bug çykdaýjysynyň N_e elektrik kuwwatyna we P_0 garşy basyşa baglanşygyny görkezýär.

$$G_0 = f(N_\partial, P_\Pi) \quad (10)$$

Hasaplama we tejribe berlenleri bilen deňişlikde giňişlikde görkezilip bilner. (10) deňlemedäki 3 parametriň iň az täsir ediji baglanşygy P_Π bugyň ahyrky basyşy bolup durýar we şonuň üçin garşy basyşly turbinanyň rezim diagrammasy $G_0 = f(N_\partial)$ egriniň setkasy görnüşinde ýerine ýetirilýär. $P_\Pi = \text{const}$ giňişlikde (10) deňleme bilen ýazylyan 3 ölçegli üstleriň kesişmegi alýar.



7-nji çyzgy. Garşy basyşly turbinanyň rezim diagrammasy.

Bir ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň rezim diagrammasy.

Umumy ýagdaýda rezim diagrammasy N2 elektrik kuwwatlylygynyň G_0 bug alynmanyň mukdary we bug alynmadaky P_0 basyşyň arasyndaky baglanşygy görkezýär.

$$G_0 = f(N_\partial, G_\Pi, P_\Pi) \quad (11)$$

Şu deňlemenden bug alynmanyň P_n basyşyny aýyrmak bolýar. Kiçi ýalňyşlykly düzediji egri çyzyklar bilen çalyşmak mümkindir. Onda (11) baglanşyk giňişlikde $G_n = \text{const}$ bolandaky $G_0 = f(N_d)$ egri çyzyklaryň köplügi hökümde gurup bolýar.

Bugy sazlanyp alynýan turbina rezim diagrammasynyň gurluşyna G_0 bugyň mukdarynyň turbinanyň N_e kuwwatyna we bug alynmadaky G_u bugynyň mukdaryna göni çyzykly baglanşygyna esaslandyrmagyny peýdalanylýan golaýlaşdyrma usulynyň mysalynda seredýäris.

$$\begin{aligned} G_0 &= G_{k0} + y_\Pi G_\Pi = G_{kx} + y_k N_\partial + y_\Pi G_\Pi = \\ &= G_{kx} + d_\Pi (1-x) N_\partial + y_\Pi G_\Pi \quad (12) \end{aligned}$$

$G_0 = G_{kx} + d_n(1-x)N_d$ -bug alynmazdan kondensasion rezimde turbina bug çykdaýjysy G_{kx} -boş işledilende (holostoý hod) bug çykaryjysy $y_k = (G_0 - G_{kx})/N_d$ - kondensasion rezimde bug çykdaýjysynyň udel ýokarlanmagy (kg/kwt sag)

$y_n = \frac{h_n - h_k}{h_0 - h_k}$ - alnan bug bilen kuwwatyň doly işlemedik kuwwat koeffisiýenti (YHD-ki peýdalanylýan ýylylyk tapawudynyň turbinadaky umumy peýdlanylýan ýylylyk tapawudyna bolan gatnaşygy).

$d_H = \frac{G_{nom}}{N_{nom}}$ - nominal nagruzkada we kondensasion rezimde bugyň udel çykdaýjysy. (kg/kwt sag)

$x = \frac{G_{kx}}{G_0}$ - boş işleme koeffisiýenti.

Rezim diagrammasynyň esasynda bolup turbinanyň iş rezimini häsiýetlendirýän gurnaw araçäk çyzyklary bolup durýar.

a) Kondensasion rezim.

Bug çykdaýjysynyň kuwwata baglanşygy $G_n = 0$ bolanda 12-nji deňlik boýunça kesgitlenilýär.

$$G_0 = G_{k0} = G_{kx} + d_\Pi (1-x) N_\partial \quad (13)$$

Kondensasion rezimiň grafigi çyzyklary 2 nokat boýunça görkezilýär.

K nokat nominal elektrik kuwwatlylygynda kondensatora berilýän nominal bug mukdaryny görkezýär.

O_1 nokat turbinanyň nol kuwwatlylygynda (boş işlände) turbina berilýän bug çykdaýjysyny G_{kx} kesgitleýär.

Kondensasion rezimiň K we 0_1 nokatlarynyň üstünden geçýän O-O, bölek turbinadaky kuwwat ýitgisini ΔN şertli kesgitleýär. Ýagny boş işledilendäki garşylyklary aýyrmak üçin kesgitlenilýär. Hakykatda kondensasion rezimdäki baglanşyk $G_0 = f(N_d)$ göni çyzykly rezimden tapawutlanýar we çylşyrymly görnüşe eýe bolýar. Ýagny bu bug ýaýradylşynyň sistemasy içki otnositel PTK-ň üýtgame häsiýeti turbinanyň ýokary basyşly böleginde işlän bugyň temperaturasy bilen kesgitlenilýär.

b) Garşy basyşda turbinanyň iş rezimi.

Turbina berlen bugyň mukdarynyň üýtgemegi (12) deňlik bilen $G_k=0$ we $G = G_n$ bolandaky ýagdaý kesgitlenilýär.

$$G_0 = G_{0\Pi} = G_{\Pi} = G_{kx} + d_{\Pi}(1-x)N_{\partial} + y_{\Pi}G_0 \quad (14)$$

$$G_0 = \frac{G_{kx}}{1-y_{\Pi}} + \frac{d_{\Pi}(1-x)}{1-y_{\Pi}}N_{\partial} = G_{\Pi x} + y_{\Pi}N_{\partial} \quad (14a)$$

Nirede:

$$G_0 = f(N_{\partial}, G_{\Pi}, G_T) \quad (15)$$

$G_{\Pi x} = G_{kx}/(1-y_n)$ – garşy basyşly zežimde turbinanyň boş işlemegine bug çykdaýjysy (kg/sek) $y_n = \frac{y_k}{1-y_n}$ – garşy basyşly turbinanyň iş reziminde bugyň udel ýokarlanmaga (kg/kwt sag) $G_{nk} > G_{kx}$; $y_n > y_k$ şu deňsizlikler turbinada bug alynma çenli ýylylyk tapawutlary bilen deňeşdireniňde örän kiçi we degişlilikde bugyň udel çykdaýjysy ýokary. Bir ýerinde bugy sazlanyp alynýan turbinanyň rezim diagrammasy.

Rezim diagramma 2 sany berlen ululyk boýunça 3-4-nji ululyklar kesgitlemäge mümkinçilik berýä. Alynýan bug G_0 bugyň mukdaryny kesgitlemek üçin berlen turbina kuwwatlylygyna we G_n bug mukdarynda ikisiniň kesişme A nokady tapýarys. Anokadynyň üstünden YHD hemişelik bug berilýän çyzygyna çenli çyzyp C nokady belleýäris. Şu nokadyň üsti bilen kondensatora berilýän bugyň mukdaryny kesgitlemek alynýan bugyň mukdaryny G_0 we G_k bug mukdarlarynyň tapawudy hökmünde kesgitläp bilýäris. Eger-de turbina berilýän bugyň mukdaryny kesgitlemeli bolsa, onda $N_d = \text{const}$, $G_n = \text{const}$ çyzyklarynyň kesişmeginde tapyp bolýar.

2 ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinalaryň rezim diagrammasy.

Diagramma N_e turbina kuwwatynyň G_0 bug çykdaýjysynyň, G_n alynýan bugyň bug çykdaýjysynyň we G_T teplofikasion bug çykdaýjylarynyň aralaryndaky baglanşyklary görkezýär.

$$G_0 = f(N_{\partial}, G_{\Pi}, G_T) \quad (15)$$

Beýleki parametrler düzediji egriler hökmünde göz önünd tutulýar. Iki ýerinden bugyň sazlanyp alynýan turbinalaryň rezim diagrammasy gurlanda bir

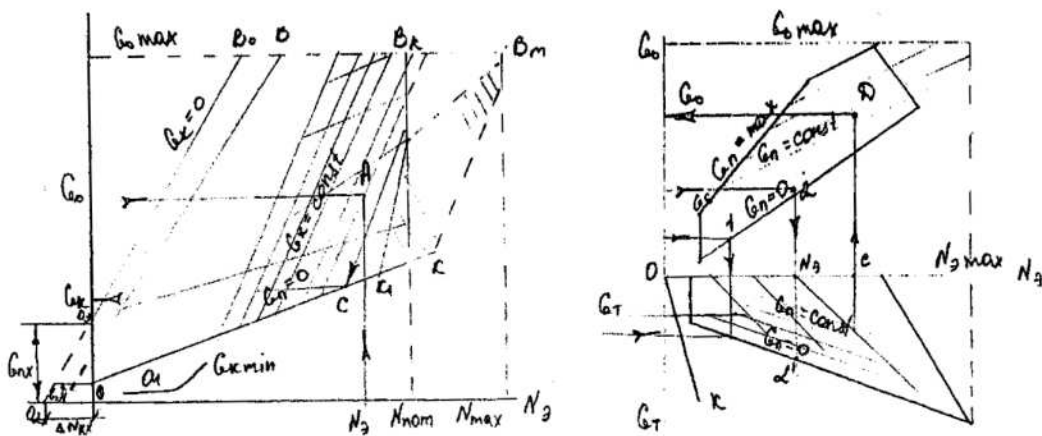
ýerinden bugyň sazlanyp alynýan fiksiw turbina bilen çalyşýar. Teplofikasion bug alynma şertli nola deň diýip alynýar. Turbinanyň kiçi basyşly böleginde goşmaça bug berilýär we goşmaça kuwwat öndürilýär.

$$\Delta N_T = G_T H_i'' \eta_M \eta_{\partial v} = K G_T \quad (16)$$

H_i'' -turbinanyň pes basyşly böleginde peýdalanylýan ýylylyk tapawudy. K-proporsionallyk koeffisiýenti (15) deňleme (6) deňlemäni göz öňünde tutulanda aşakdaky görnüşini alýar.

$$N_{\partial} = N_{\partial y e n} - \Delta N_T = f(G_0, G_{\Pi}) - G_T H_i'' \eta_M \eta_{\partial v} \quad (17)$$

$N_{\partial y e n} = f(G_0, G_n)$ - teplofikasion bug alynma nola deň bolanda şertli turbina bilen öndürilen kuwwat. (17) deňlige gabat gelýän rezim diagrammasy giňişlikde 2 kwadrata gurlup bilner ýokary kwadratdan $G_0 = f(N_{\partial y e n}, G_n)$ baglanyşyk görkezilýär. Ol şertli turbinanyň ýyladyşa bug berilmedik ýagdaýyndaky işiniň rezim diagrammasyny görkezýär. Onuň guruimagy bir ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinalaryňky ýaly amala aşyrylýar. Diagrammanyň aşaky araçägi $G_n=0$ önümçilige bug alynma degişli çyzyp görkezýär. Diagrammanyň ýokary kwadratynyň ýokary araçägi maksimal bug akynma $G_{0 \max}$ we $G_{n \max}$, şeýle hem YCD girýän G_{YCD} çyzyklary bilen çäklendirilýär. Aşaky kwadranta ýyladyşa bug alynma G_T we goşmaça kuwwaty ΔN_T baglaşdyryjy O-K çyzyk we parallel göni çyzyklar setkasy gurulýar. Mundan başga-da $G_n = \text{const}$ teplofikasiýa üçin çäklendiriji çyzyk çyzylýar, el maksimal mümkin bolan önümçilik bug alynmasyny görkezýär. Bu turbinanyň umumy bug balansyndan YCD-niň çykalgalaryndaky bug mukdary teplofikasion bug alynmanyň YHD basgançaklaryny sowatmak üçin derekli ululyklaryndan uly bolmadyk şertlerinden kesgitlenilýär.



9-njy çyzgy. Iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň rezim diagrammasy.

Iki ýerinden bugy sazlanyp alynýan turbinanyň rezim diagrammada 3 belli ululyklar boýunça 4-njini tapmak mümkindir.

Iki ýerinden ýyladyşa bug saylanyp alynýan turbinalaryň rezim diagrammalary

Diagramma N_d turbina kuwwatynyň Q_T ýylylyk ýüküniň G_0 bug çykdajysynyň we t_{2c} ulanyja goýberilýän set suwunyň temperaturasynyň aralaryndaky baglanşyklary görkezýär.

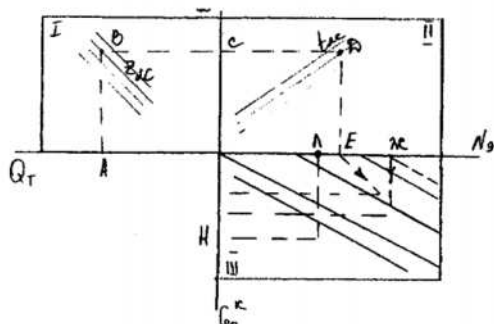
$$F(N_d, Q_T, G_0, t_{2c}) = 0 \quad (19)$$

Rezim diagrammasy täze bug akymynyň bölünme usuly boýunça gurulýar.

Teplofikasion G_0^r we G_0^k kondensasion akymlar boýunça gurulýar. Degişlilikde turbina kuwwaty şertli teplofikasion bug akymynyň kuwwatynyň N_d we kondensasion bug akymynyň N_d^k kuwwatynyň jemine deň diýip alynýar. Şu baglanşyklary göz önünde tutmak bilen (19) deňleme aşakdaky görnüşe gelýär.

$$G_0 = f_1(N_d^r, t_{2c}) + f_2(N_d^k) \quad (20)$$

Diagramma 3 kwadranta ýerine ýetirilýär.



10-njy çyzygy. Iki ýerinden ýyladyşa bug alynýan turbina rezim diagrammasy.

1-nji (çep ýokarky) kwadranta bug çykdajysynyň ýylylyk ýüküni turbina kuwwaty aralaryndaky baglanşyk görkezilýär.

$$G_0^r = f_1(Q_T, t_{2c})$$

2-nji (sag ýokarky) kwadranta dürli t_{2c} temperatura bahalarynda we ýylylyk grafiki boýunça işlände turbina berilýän buguň onuň kuwwatyna baglanşyk görkezilýär.

$$G_0^r = f_2(N_d^r, t_{2c})$$

3-nji (sag aşaky) kwadrantda turbina elektrik grafigini häsiýetlendirýär we kondensasion bug çykdajysynyň şol akym bilen döredilen kuwwatyna baglanşyk görkezilýär.

$$G_0^k = f_3(N_d^k)$$

Turbina umumy çykdajysy (20) deňlige degişlilikde 2-nji we 3-nji kwadrantlarda tapylan bug çykdajylaryny jemlemek bilen tapylýar. 3-nji kwadrantda şeýle hem turbina kuwwaty nagruksyz arassa kondensasion rezim

çyzygy görkezilýär (a çyzyk). Iki ýerinden ýyladyşa bug alynýan turbinalaryň rezim diagrammasyny ulanmaklygyň meselemleri:

1) Turbinanyň ýylylyk grafigi boýunça işlemeginde şeýle hem Q_T ýylylyk ýüküniň we t_{2c} set suwunyň temperaturasynyň berilmeginde turbina kuwwatyny we bug çykdajysyny kesgitlemeli.

Çözüdi:

Berlen Q_T we t_{2c} boýunça I, II kwadrantlarda ABCDE çyzyklar. I kwadrantda G_0^T bug çykdajysyny kesgitlenilýär (C nokat). II kwadrantda N_d^T kuwwatdan tapýarys (E nokat).

2) Belli Q_T ýylylyk nagruzkasynda N_d kuwwatynda we t_{2c} set suwunyň temperaturasynda kondensasion rezimde işleýän turbinanyň bug çykdajysyny kesgitlemeli.

Çözüdi:

Berlen Q_T we t_{1c} boýunça 1-nji meselä meňzeşlikde teplofikasion bug akymy bilen öndürilen N_d^T kuwwat kesgitlenilýär. Berlen N_d kuwwat bilen N_d^T kuwwatyň tapawudy kondensasion akymyň N_d^k kuwwaty bolup durýar. (EKC aralyk) nokadyň üstünden $G_0^k = f(N_d^k)$ baglansygynda ekwiwalent çyzyk U nokady alyp G_0^k kondensasion bug akymynyň çykdajysy alynýar. Turbina berilýän bug çykdajysy bolsa G_0^T we G_0^k jemlenmegi bilen tapylýar.

3) Turbina bug çykdajysy turbina arassa kondensasion reziminde işlemeginde G_0^k berlen N_d kesgitlenilýär. III kwadrantda belli N_d kuwwatda we a egri boýunça gözlenilýär we G_0^k kesgitlenilýär. (LMN çyzyk).

Turbina desgalarynyň ekspluatasiýasy. Ekspluatasiya meseleleri.

Bug turbinaly enjamlaryň ekspluatasiýasynyň esaslandyryan meselesi bolup ulanyjylary elektrik energiýa we ýylylyk üpjünçiligini dispeçer grafikleri boýunça ygtybarly we yzygiderli mümkin bolan maksimal ytgşylylykda üpjün etmek bolup durýar.

Tygşylylyk we ygtybarlylyk düşünje biri-biri bilen berk baglansyklydyr. Üznüksizlik remonta degişliligi we köp möhletliligi ygtybarlylyk görkezijiler bolup durýar.

Üznüksizlik bökdençleriň (otkazlaryň) arasyndaky iş wagty bilen häsiýetlendirilýär. Remonta degişli bökdençliklerden soň enjamlaryň ortaça remont wagty bilen düýpli remontlaryň arasyndaky ortaça işlän möhleti bilen kesgitlenilýär.

Uzak möhletliligi enjamlaryň hatardan çykmagyna çenli gulluk eden ortaça möhleti bilen kesgitlenilýär.

Ygtybarlylygyň kompleksleýin görkezijisi bolup taýýarlyk koeffisiýenti K hyzmat edýär we ol islendik wagt momenti planlaşdyrylan remont döwründen başga turbinanyň iş ukyplylyk ähtimallygyny häsiýetlendirýär.

$$K=T_0/T_0+T_B$$

Bu ýerde

$T_0=T_p/m$ - (otkaz) bökdençliklere çenli ortaça islernek wagty.

$T_B=T_{rem}/m$ -ortaça dikeldilme wagty.

T_p -birnäçe döwür jemlenen iş wagty.

T_{rem} -birnäçe döwür jemlenen remont wagty.

m -umumy näsazlykdan bökdelen wagty.

Turbinanyň dikeldilme döwründe soň aşakdaky ygtybarlylyk görkezijileri bolmalydyr: taýýarlyk koeffisiýenti-0,97-den kiçi bolamly däldir; bökdençsiz işlemegi-5000 sagat bolmalydyr; remontlaryň arasyndaky gulluk döwri az bolamly däldir; doly hatardan çykarylmagy 30 ýyldan az bolamly däldir.

Elektrik energiýa grafikleriniň dürli üýtgeýändigini turbinanyň dürli manewrlygynakesgitli talap girizilýär. Turbina hepdede 24-55 sagat durmak mümkinçiligini we soňra onuň doly sowamadyk ýagdaýyna işe goýberilende tizligi 0,8:0,65% nominal kuwwata ýüklenmegine üpjün etmelidir. Gijeki togtadylmagyndan işe goýberilmegi ýüklenme tizligi 1-2% minutda bolmalydyr.

$$\frac{1 - 2\% N_{nom}}{min.}$$

Ortaça energobloklar ýylda 20 gezek işe goýberilmelidir. Şeýlelikde işe goýberilme 30 ýylyň dowamynda 600-800 gezek bolmalydyr. Durnukly rezimde uzak wagtda işländen soňra sazlanylan nagruzka 50-100% aralykda turbina hökmany kuwwat üýtgemekligini nominal kuwwatyň 2:3% minutda tizlik bilen üýtgedilmegine rugsat edilýär. Turbina ýylyň dowamynda 2 gözbaş işlemegine çenli nagruzkasyny ýitirmäge rugsat edilýär. Nagruzka grafikleriniň deňsizligi üçin ýörite pik we ýarym pik turbinalar işledilýär. (GTD-ler) olaryň işe goýberilmeginiň sany 2000-3000 şu turbinalaryň häsiýetli aýratynlyklary bolup olary kiçi parametrlerde işe goýberip bolýanlygyndadyr (20-30 minut). Ähli elektrostansiýanyň esaslarynyň instruksiýasy (PTE) tehniki ekspluatasiýasynyň düzgünleri bolup durýar. PTE-niň taýýarlan zawodyň instruksiýalaryň ylmy-gözleg edaralarynyň maksatlarynyň we ýerli şertleriniň esasynda administratiw tehniki personal ýerli wezipeler ekspluatasion awariýa garşy instruksiýalar taýýarlanylýar.

Turbinanyň işleýşiniň ygtybarlylyk kriteriýasy.

Turbinanyň stasionar işinde we aýratynlykda üýtgeýän rezimde onuň detallarynyň bug nagruzkasynda mehaniki we ýylylyk güýçleriniň temperatura deformasiýasynyň giň spektriniň täsir edýär. Şu nagruzkalaryň çäklendirilen bahalarynda geçmezlik üçin we turbina awariýany getirilmezligi üçin ýa-da köp

möhletliligini azaltmazlyk üçin ekspluatasiýasynda hökmany birnäçe ygtybarlylyk kriteriýasyny saklanylmalydyr, ýagny ony 2 topara bölmek mümkindir: 1-nji topara degişli kriteriýalar ýalňyşlysa turbinanyň saklanylmagy talap edilýär we generator setden öçürilmelidir.

-Rotoryň aýlanma ýygylgy howpsuzlyk awtomatynyň işlemekliginden ýokary bolmaly däldir. Aýlanma ýygylgynyň ýokarlanmagy sazlaýyş sistemasynyň bökdelmeginden we pilçeleriň üzülmegini we merkezden gaçma güýçleriniň täsirinde rotoryň süýşmegine getirip biler.

-Rotoryň okunyň ugruna süýşmegi rugsat edilen bahalaryndan ýokary bolmaly däldir. Rotoryň okunyň ugruna süýşmegi söýeg podşipnikleriniň kolodkalarynyň tabritleriniň guýulmalarynyň eremegine getirýär.

-Rotoryň we statoryň otnositel hal ýagdaýyny rugsat edilýän çäklerinden ýokary bolmaly däldir. Bolmadyk ýagdaýynda onuň güwinleri we uzynlygyna zaýalanmagy mümkindir. Detallaryň otnositel ýagdaýyny temperaturanyň we bug mukdarynyň üýtgemegi netijesinde deň gyzmaýanlygy üçin üýtgeýär. Ýagny, temperaturasy islendik podşipniklerden guýulanda ýa-da söýeg daýanç pýodşipniklerindäki babbitleň temperaturasyny degişlilikde 15 we 90-dan geçmeli däldir.

-Kondensatordaky wakum 0,0719 Mpa kiçi bolamly däldir. Wakumyň kiçelmegi SND-niň çykalgasynyň gyzmagyna, rotoryň otnositel ýagdaýynyň üýtgemegi rugsat edilen çäklerinden ýokary geçmeli däldir. Ahyrky basgançagynyň aşa ýüklenmegi diafragmanyň döwürlemgine getirýär.

-Podşipnikleriň birden sarsgynlylygynyň ýüze çykmagy belli çäklerinden (20 mikrometr) ýokary metal galmagaly (şum) dykyzlanmalardan iskra, rotoryň бүкүlmegi 0,2 mm uly бүкүlmegine getirip biler.

-Täze bugyň we aralykda aşa gyzdyrylan buguň temperaturasyny birden peselmegi gidro udaryň döremegi rugsat edilmeýär. Temperaturanyň birden peselmegi gazanyň iş rezimi birden bozulanda ýüze çykýar we turbina detallaryň döwürlemgine getirip biler.

Ikinji toparyň kriteriýalary turbinanyň birden saklanylmagyny talap edýär. Yöne olary uzak wagtlap bejermezlik rugsat edilmeýär.

-Turbina podşipnikleriniň sarsgynlylyk 9 wibrasiýa amplitudasy, aýlanma ýygylgy 50 Gs bolan turbinalarda 30 mikrometrden uly bolmaly däldir, aýlanma ýygylgy 25 Gs bolan turbinada 50 mikrometrden uly bolamly däldir. Podşipnikler daýanjynyň sarsgynlylyk tizliginiň effektiv bahasy 4 min/sek uly bolmaly däldir.

-Basgançaklardaky bug basyşy nominal bahasyndan 15% berlen bug mukdaryndan ýokary saklamaly däldir. Basyşy yzygider ýokarlandyrmak, gönükdiriji we işçi pilçeleriň akym ýollarynyň duzlar bilen ýapmagyna getirýär.

Duzlaryň gönükdiriji pilçeleriniň köpelmegi, basyş üýtgemesini ýokarlandyrýar we diafragmalarda бүкүji güýç döredýär.

Eger-de işçi pilçeleriň kese 0 kesigini duzlar kiçeltse disklere basyş tapawutlaryny ýokarlandyrýar. Şeýle hem söýeg podşipnikleriniň ok basyşy ýokarlanýar.

-Täze bugyň we aralykda aşy gyzdyrylan bugyň temperaturasyny nominal bahasyndan 10-20 ýokarlananda tizlikleriň ýokarlanmagyna şeýle hem metallar durkuny üýtgetýär. Şonuň üçin ýylyň dowamynda kesgitli sagat edilýär.

Bug turbinanyň işe goýberilişi

1. Umumy ýagdaý.
2. Blokly däl kondensasion turbinanyň işe goýberilişi.
3. Bugy sazlanyp alynýan we garşy basyşly blokly däl turbinalaryň işe goýberilişiniň aýratynlyklary.
4. Bug gazanly blokly turbinalaryň işe goýberilişi.
5. Sowuk ýagdaýyndan blokly turbinanyň işe goýberilişi.
6. Gyzgyn ýagdaýyndan we doly sowamadyk ýagdaýyndan blokly turbinanyň işe goýberilişi.

1. Turbinanyň işe goýberilişi ýokary zähmet we jogapkärçiligi rezimleriň biri bolup durýar. Doly işe goýberilmedik ýagdaýynda tehnologiýanyň bozulmagyna getirip bilýär. Ol öz gezeginde şertli 2 topara bölünýär. 1-nji toparyna degişli hadysalar gönüden-göni işe goýberilen wagty ýüze çykýar 2-nji topara degişli birnäçe wagtdan işländen soňra detallaryň iýilmegine we ýarylmagyna degişli bolýan hadysalar.

Otrisetel hadysalaryň ýüze çykamagynyň önüni almak üçin turbinanyň ygtybarly lyk kriteriýalaryny doly berjaý etmelidir.

2. Blokly däl kondensasion turbinanyň işe goýberilişi nominal parametrlerde amala aşyrylýar. İşe goýberilişiniň tehnologiki aýratynlyklary aşakdaky etaplara bölünýär. İşe goýberilmäge taýýarlyk kömekçi enjamlaryň işe goýberilmegi bug geçirijileri gyzdyrmak rotoryň aýlanma ýygylgy nominal bahasyna çenli gyzdyrmak we generatory sete birikdirmek, turbinanyň ýüklenilmegi.

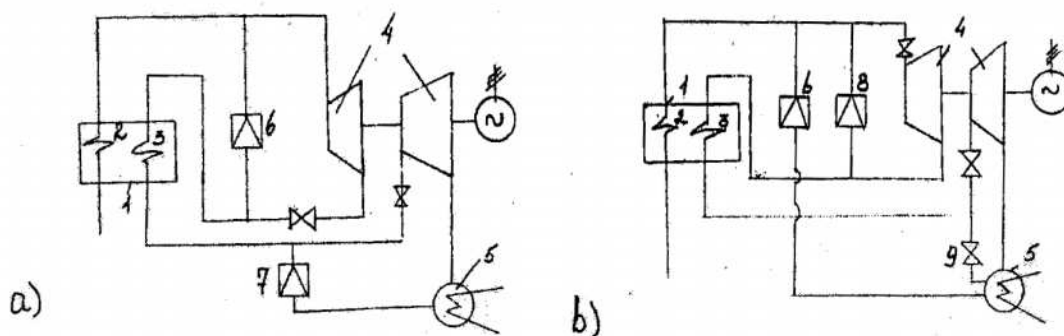
Turbinanyň işe goýberilmegine taýýarlyk öz içine alýan enjamlaryň gözegçiligini goraglaryny barlamak we esasy kondensatoryň shemalaryny ýygnamak, ýag üçin üpjünçiligi we sazlanýşyny barlamak.

Turbinanyň işe goýberilişi kömekçi ýag nasoslaryň işe goýberilmegi bilen başlanýar we enjamlar işe goýberilýär. Sorira kondensasion we howa sorujy enjamlar işe goýberilýär. Soňra turbinanyň dykzlandyrylmagyna daşky bug

berilýär. Kondensatordan gerekli wakum alnandan soňra äkidiji bug geçirijiler gyzdyrylyp başlanýar. Rotoryň bug bilen aýlanylmagyndan öňürti mehaniki we elektrik egrelme datçikleriň üsti bilen wal бүкүлmesi barlanylýar. Walyň бүкүлmegi 0,03 mm. Başgaça wal aýlaýjy üsti bilen rotor aýlanylýar. Aýlanma ýygylgy nominal bahasyna çenli basgaçaklaýyn ýokarlandyrylýar. Saklanylmagynyň dowamlylygy turbinanyň ýylylyk we metalyň gyzma tizligi bilen kesgitlenilýär.

3. Garşy basyşly turbinanyň çykalgalaryndaky bug belli bir fiksirlenen basyşda işleýän ýylylyk setlerine berilýär. Şonuň üçin şeýle temperaturanyň işe goýberilişi bolup wal aýlaýjy enjam bilen ýokarlanýar ýylylyk setiniň basyşyna çenli. Soňra ýylylyk set bilen baglaýjy liniýanyň zadwizkasy doly açylýar rotor bug bilen iteklenýär. Aýlanma ýygylgy laminal bahasyna çenli ýokarlanýar. Garşy basyşly turbinanyň sazlaýyş sistemasy iki ýerden impuls alýar. Aýlanma ýygylgydan we çykalgadaky bug basyşyndan ýagny turbina ýylylyk grafigi boýunça işleýär. Bug sazlanyp alynýan kondensasion turbinalar hem adaty turbinalar ýaly işe goýberilýär. Bug sazlanyp alynýan ýerleri sinhronlaşandan soňra açylýar.

4. Blokly bug gazanlary bilen işleýän turbinanyň işe goýberilişi bir wagtyň dowamynda gazanyň işe goýberilmegi bilen amala aşyrylýar. Kondensatorda basyş 0,04 Mpa az bolamly däl. Buggyň parametri BROU-150°C 0,6 Mpa çenli peselýär. Mundan başgada kondensatora sowadyjy suwuň pürkülmesi berilýär.



1-njiçyzgy. Bloklynyň işe goýberilişiniň shemasy. a) iki BROU-ly. b) bir BROU-ly.

1-gazan, 2-aşa gyzdyrma, 3-aralykda aşg gyzdyryjy 4-turbina, 5-kondensator, 6-BROU-1, 7-BROU-2.

Turbinanyň sowukýagdaýda işe goýberilişi

Turbinanyň motorynyň aýlaw sanyny 1200ob/min 3000ob/min 3-5 minudyň dowamynda ara wagt salman galmaly, ýagny kritiki sanlara gabat getirmeli däl. Rotoryň aýlaw sany galdyrylanda EBZ-nyň (GPZ) boýpasy, ýagny N°221, N°222 elektro zadwizkalaryň kömegi bilen amala aşyrylýar. ÝoBS-iň we OBS-iň sazlaýjy

klapanlary doly ýagdaýda açyk bolmalydyr. Rotoryň aýlaw sany 3000 ob/ min ýetende metallaryň gyzmagy üçin we enjamlara gözegçilik etmek üçin 80 minut saklanmaly. Turbinanyň rotorynyň aýlaw sany 3000 ob/min-da buguň parametrleri ýagny

1. ÝOBS-de buguň basyşy 20/30 kgs/sm² buguň temperaturasy 320-340°C.
2. OBS-de bolsa buguň temperaturasy 260-280°C ýetende generatory sete goşmaga rugsat edilýär.

Baş ýag nasosynyň naporynda ýagyň basyşy 18 kgs/sm² ýetende rotoryň aýlaw sany 2800ob/min bolýar. Şeýlelikde işe goýberiji ýag nasosynyň naporyny ýuwaşlyk bilen ýapmaly we ýagyň sazlaýjy hem-de ýaglaýjy sistemada basyşynyň kadalygyna göz ýetirip işe goýberiji ýag nasosyny saklamaly. İşe goýberiji ýag nasosy saklanylandan soň napordaky zadwizkany açyk ýagdaýda goýmaly.

Rotoryň aýlaw sany 3000 ob/min kondensatorda wakумыň derejesi 0,92 kgs/sm² bolmalydyr. Rotoryň aýlaw sanyny 3000 ob/min 10 minutdan köp saklamak bolmaýar. Haçanda turbina sowuk ýagdaýdan işe goýberilende generatorda elektrik ispytaniýesi geçirmek üçin 24 sagatlap aýlamana kondensatorda WK derejesi 0,92 sms/sm² bolan ýagdaýynda rugsat edilýär. Turbinanyň podşipniginiň ýaglandyrylyşyna berilýän ýagyň temperaturasy 45-50°C ýetende turbinanyň ýag sowadyjysyny işe goşup ýagyň temperaturasy 40-45°C aralygynda bolarýaly edip sazlamaly. Generatory sete goşulandan soň EBZ-nyň boýpasyny doly açyp kuwwatlylygyny 5-7 minuta ýetirmeli. Bugy tiz sowadyjy enjamy ýagny BROU we turbinanyň metallaryny gyzdyrmak üçin açylan drenazlaryň baryny ýapmaly.

Turbinanyň kuwwatlylygy 5-7 MWt-da işleýşiniň oňatlygyna göz ýetirilenden soňra, 70 minudyň dowamynda turbinanyň kuwwatlylygyny 30 MWt-da şu aşakdakylar ýaly bolmalydyr.

1. YoBS-iň öňünde täze buguň basyşy 70 ata.
2. Täze buguň temperaturasy 440°C.
3. OBS-iň öňünde bolsa buguň temperaturasy 430°C. Haçanda buguň temperaturasy 400°C-dan 540°C-a gyzdyrylanda temperaturanyň galyş tizligi minutda 0,8°C ýagny 10 minutda 8°C bolmalydyr.

Buguň parametrleri YoBS-iň öňünde basyşy 105 ata temperaturasy bolsa 490°C ýetende turbinanyň kuwwatlylygyny 5 minudyň dowamynda 30 MWt-dan 60 MWt galdyrmaly. Turbinada metallaryň oňat gyzmagy üçin 30 minut saklamaly.

Turbinanyň kuwwatlylygyny 80 minudyň dowamynda 60 MWt-dan 210 MWt galdyrmaly we buguň parametrleri aşakdakylardan ybaratdyr.

1. Täze buguň basyşy YoBS-den öň 130 ata.
2. Täze buguň temperaturasy 530°C.

3. OBS-dan öň bugyň temperaturasy 530°C.

Turbinanyň kuwwaty 210 MWt ýetende 30 minudyň dowamynda bugyň temperaturasyny we basyşyny nominalnyý parametre ýetirmeli.

Turbinanyň gyzgyn ýagdaýda işe goýberilişi

1. Turbinanyň işe goýberiliş tertibi.

2. Turbina işe goýberilende tehniki howpsuzlyk. Turbinanyň gyzgyn ýagdaýda işe goýberilişiniň kadasy turbinanyň metalynyň temperaturasy bilen kesgitlenilýär. Eger-de ýokary basyşly silindriň ýokarky böleginiň temperaturasy 150°C-dan beýik bolsa onda turbina gyzgyn ýagdaýynda hasap edilýär.

Turbina gyzgyn ýagdaýyndan işe goýbermäge gadagan edilýär. Eger ýokary basyşly we orta basyşly silindriň metalynyň ýokarky we aşaky böleginiň temperaturasynyň tapawudy 50°C-dan geçse turbina işe goýberilende bug gazanyndan soň täze bugyň temperaturasy ýokary basyşly silindriň metalynyň temperaturasyndan 100°C beýik bolmalydyr. Turbinany gyzgyn ýagdaýyndan işe goýberilmesi buglaryň nominalnyý parametrlerinde amala aşyrylýar. Rotory aýlaw esasy bug zadwizkasynyň boýpasynyň ästi bilen amala aşyrylýar. Şol wagt täze bugyň temperaturasy esasy bug zadwizkadan öň 30 ata-dan pes bolmaly däldir.

Turbinanyň enjamlarynyň barysynyň işe goýberilmäge taýýarlygyna doly göz ýetirilenden soňra esasy bug zadwizkany açyp turbina bug bermeli we rotoryň aýlaw sanyny minutda 500-e ýetirmeli. 500 aýlaw/minutda turbinany diňläp ýaly 3-5 minut saklamaly.

Turbinanyň oňatdygyna göz ýetirilenden soňra 1 minudyň dowamynda turbinanyň aýlaw sanyny 1200 ob/min ýetirmeli we 5 minut saklanyp turbinany diňlemeli.

Kondensatorda Wk derejesi 0,72kgs/sm² baranda turbinanyň aýlaw sanyny 3000 ob/min ýetirip generatory sete goşmana rugsat edilýär.

Turbina sete goşulanda:

1. Dearatordan soň buggardyjy enjamyň himiki arassalanan suwunyň.

2. Buggardyjynyň kondensatynyň.

3. Buggardyjynyň distilatynyň analizine berk gözegçilik etmelidir.

Aşakdakylardan bolsa himiki analiz alynýar: 1. Himiki arassalanan suwdan.

a) Duz saklaýjylygy.

b) Kislorodyň mukdary.

ç) Kömürkislotasynyň mukdary.

d) Jestkost.

Suwuň, buguň düzümi düzülyänçä produwka geçirip analiz geçirip durmalydyr.

Turbina gyzdyrylanda täze bugy we aralyk bugy gyzydyryjylary geçirijilerde metalyň gyzdyrylşy minutda 5-6°C-dan geçmeli däldir. Täze bugy we aralyk bugy gyzdyryjylary geçirijilerde metalyň temperaturasyndan berilýän bugyň temperaturasy 15°C beýik bolmalydyr.

Turbina gyzdyrylanda, rotorda aýlaw alynanda, turbinanyň ýüküniň kuwwatlylygy artdyrylanda temperaturasynyň galyş tizligi şu aşakdakylardan geçmeli däldir.

- 1) 100°C-dan 200°C çenli minutda 4°C.
- 2) 200°C-dan 300°C çenli minutda 3°C.
- 3) 300°C-dan 400°C çenli minutda 2°C.
- 4) 400°C-dan 500°C çenli minutda 1°C.
- 5) 500°C-dan köp bolsa minutda 0,6°C.

Ýokary basyşly silindriň sazlaýjy başgançagynyň zonasynda we orta basyşly silindriň bug goýberiji zonasynda ýokary we aşaky bugyň temperatura tapawudy 50°C-dan geçmeli däldir.

Turbinany işe goýberilende ýa-da iş wagtynda täze bugyň we aralyk gyzydyrylýan bugyň temperaturasyny bir wagtyň özünde +5°C-dan -10°C aralygynda üýtgetmek gadagan.

Eger-de

- 1) Ýokary basyşly silindriň rotory +4,0mm-1,2mm.
- 2) Orta basyşly silindriň rotory +3,0mm-2,5mm.
- 3) Pes basyşly silindriň rotory +4,5mm-2,5mm. Bolmasa onda rotoryň aýlaw sanyny artdyrmak ýa-da turbinanyň ýüküni artdyrmak gadagan edilýär.

Yokarda "+" belgisi rotor silindrden uzyn "-" belgisi bolsa rotor silindrden gysga diýlip aňladylýar.

Eger ýokary basyşly silindriň rotory silindrden gysgalýan bolsa onda turbinanyň öňündäki dykzlandyrmasyna bug berilýär we täze bugyň temperaturasyny galdyrýar haçanda orta basyşly silindriň rotory süýnse onda aralyk gyzydyrylýan bugyň temperaturasyny galdyrmagy bes edip ony ep-esli aşak düşürmeli.

Eger-de orta basyşly silindriň rotory gysgalsa onda aralyk gyzydyrylýan bugyň temperaturasyny galdyryp turbinanyň ýüküni artdyrmaly. Haçanda pes basyşly silindr rotory silindrden ulalsa onda kondensatorda Wk-nyň derejesini düşmeli.

Eger-de pes basyşly silindriň rotory gysgalsa onda kondensatordaky Wk-nyň derejesini ulaltmaly.

Turbinanyň rotoryny aýlaw çykylanda ýa-da turbinanyň ýüküniň artdyrylýan döwründe güýçli sandyrama ýüze çykan ýagdaýynda onda turbinany haýal etmän saklanylmalydyr. Turbinanyň sandyramasy aşakdakylardan ybarat bolýar, ýagny:

Turbinanyň sandyramasy 2,8mm°C-dan pes bolsa onda ol kadaly hasap edilýär. Eger 2,8mm°C-dan 4,5mm°C çenli bolsa onda turbinany ýakynyndaky bejergä çenli işledilmegine rugsat edilýär.

4,5mm°C-dan 7mm°C çenli 5 sutka işlemäne rugsat edilýär.

7mm°C-dan 10mm°C çenli bolsa turbinanyň sandyrmasy 3 sagadyň dowamynda anyklap derrew ýatyrmarydyr.

Turbinanyň kömekçi enjamlarynyň işe goýberiliş tertibi

Turbinanyň kömekçi enjamlary bolup çyg suwy buggardyjylar, ýokary basyşly gyzdyryjylar dirýär. Ýokary basyşly gyzdyryjylary turbina kuwwatlylygy 60-70 MWt ýetende başlanýar. Iýmitlendiriji suwy gyzdirmek üçin turbinanyň otboryndan berilýän bugyň öwrülen kondensatyny alyp gidýän liniýa başgaça gyzdyryjylaryň drenazy diýilýär. Turbinanyň kuwwatlylygy 60-70 MWt-da дренаž ÝoBG7-ni ÝoBG6-yň üstünden diarator 7 ata, drenaz ÝoBG5-si bolsa PBG-4 açylýar. Turbinanyň kuwwaty 80-90 MWt ýetende ÝoBG5 drenazyny derator 7 ata açylýar. Bu shema başgaça ÝoBG-yň parallel işlemesi diýilýär.

Turbinanyň kuwwaty 165-170 MWt ýetende ÝoBG-yň дренаžly ÝoBG-7,6,5 üstünden dearator 7 ata berilýär. Bu shema başgaça ÝoBG-yň kaskadnyý işledilşi diýilýär.

Turbinanyň kuwwaty 150 MWt ýetende dearator 7 ata turbinanyň III otboryndan bug berilýär. Eger ÝoBG-lar işlemedik ýagdaýynda, onda turbinanyň kuwwaty 50-55 MWt-a ýetende turbinanyň III otboryndan dearator 7 ata bug berilýär.

Turbinanyň ýük galdyryýan wagtynda kondensatordaky suwuň dearator geçişini berk gözegçilik etmelidir. Sebäbi dearator 7 ata basyşyň galmagy bilen suwuň geçmegi hem kynlaşýar. Eger suw geçmese onda ýene-de bir kondensat nasosyny işledilýär. Turbinanyň kuwwatyny artdyrylýan döwründe suwuň, bugyň hiline berk gözegçilik etmelidir.

Turbinany işe goýberilen döwründe, metallaryň gyzdyrylýan wagtynda sete goşulyp ýüküniň artdyrylýan döwründe şu aşakdakylara berk gözegçilik etmelidir.

1. Walyň egrelmesi.
2. Podşipnikleriň sandyramasy.

3. Rotoryň os boýunça süýşmegine.
4. Rotoryň otnositel süýşmesine.
5. ÝoBS-iň we OBS-iň ýokary we aşaky böleginiň metalynyň temperaturasy.
6. Podşipniklere ýagyň girýän we çykýan ýerindäki temperaturasyny.
7. Wk-ýň derejesine.

Turbinanyň sazlanlyşy

1. Turbinanyň kritiki sanlary.
2. Turbinanyň ýüküni artdyrmagyň kadasy.
3. Turbinanyň awtomatiki goragy.

Turbinanyň rotoryny aýlaw çykylanda ýörite kritiki sanlar bolýar. Şu kritiki sanlaryň üstünde turbinanyň rotoryny aýlaw çykylýan döwründe saklanmak gadagan edilýär. Ol sanlar aşakdakylardan ybaratdyr.

- 1.14 89 aýl/min.
- 2.18 62 aýl/min.
- 3.19 70 aýl/min.
- 4.24 87 aýl/min.
- 5.26 80 aýl/min.

Turbinanyň aýlaw sany 300 aýl/min ýetende generator sete goşulýar we esasy bug zadwizkanyň boýpasynyň kömegi bilen 5-7 MWt ýük alynýar. Şol döwürde ýokary we orta basyşly silindriň dördünji klapany açylmasa onda turbinanyň önünde bugyň basyşyny peseldip esasy bug zadwizkany ýapmalydyr. ÝOBS-iň dördünji lapnyý takmynan 1/3-1/2 açyk bolamalydyr turbinany kuwwaty 5-7 MWt-da turbinany 30 minut saklamaly we turbinany diňläp görmeli. Turbinanyň kuwwaty 5-7 MWt-da turbinanyň metallary gyzanyndan soňra silindrleriň we bug geçirijileriň drenazlaryny ýapmaly. Turbinanyň oňat we kadaly işleýändigine göz ýetirilenden soňra 70 minudyň dowamynda turbinanyň ýüküni 30 MWt-a çenli artdyrmaly we şu ýükde turbinany 20 minutlap saklamaly.

Turbinanyň kuwwaty 30 MWt-da bugyň parametrleri aşakdakylardan ybarat bolmaly.

- a) ÝoBS-den ön täze bugyň basyşy 70 ata.
- b) ÝoBS-den ön täze bugyň temperaturasy 440°C
- ç) OBS-den ön täze bugyň temperaturasy 430°C

Temperaturanyň galyş tizligi 400°C-den 540°C-a çenli minutda 0,8°C ýagny 10 minutda 8°C bolmaly.

Turbinanyň kuwwatyny 30 MWt-dan soňra 5 minudyň dowamynda turbinanyň ýüküne 60 MWt-a çenli artdyryp 30 minutlap saklamaly. Turbinanyň kuwwaty 60 MWt-a ýetende bugyň parametrleri aşakdakylardan ybaratdyr.

a) ÝoBS-den öň täze bugyň basyşy 150 ata.

b) ÝoBS-den öň täze bugyň temperaturasy 490°C.

ç) OBS-den öň täze bugyň temperaturasy 490°C. Turbinanyň ýylylyk giňelmesiniň görsi 28 mm.

Turbinanyň kuwwaty 60 MWt-da kadaly işleýändigine göz ýetirilenden soňra 80 minudyň dowamynda turbinanyň kuwwatyny 210 MWt-a çenli artdyrmaly we şol bir wagtyň özünde bugyň basyşyny hem galdyrmaly we sazlaýjy klapanlary ýapmaly.

Turbinanyň kuwwaty 210 MWt-a ýetende bugyň parametrleri aşakdakylardan ybarat.

a) ÝoBS-den öň täze bugyň basyşy 130 ata.

b) ÝoBS-den öň täze bugyň temperaturasy 540°C.

ç) OBS-den öň täze bugyň temperaturasy 540°C.

Turbinanyň kuwwatyny 210 MWt galdyrylanda suwuň, bugyň himiki analizine berk gözegçilik etmelidir. Analiz düzülýänçä produmkany hökmany ýagdaýda geçmelidir.

Turbinanyň kadaly iş ýagdaýynda onuň kuwwatyny artdyrmak ýa-da düşürmek ýörite dispeçer tarapyndan görkezme berilýär. Şonuň görkezmesi bilen turbinanyň ýüki sazlanýlar.

Turbinanyň awtomatiki goragy

Turbinanyň awtomatiki goragy turbinanyň enjamlarynyň zaýalanmazlygy, işleýän adamlary heläkçilige getirmezligi üçin niýetlenendir.

Turbinanyň awtomatiki goragy aşakdakylardan ybaratdyr.

1. Eger-de ýagyň basyşy 0,6kgs/sm² düşse awtomatiki ýagdaýda ätiýaçlykdaky nasos işe goşulýar.

2. Ýagyň basyşy 0,5 kgs/sm² düşse awariýnyý ýag nasosy işe goşulýar.

3. Ýagyň basyşy 0,3 kgs/sm² düşse onda awtomatiki usulda turbina ýatýar.

4. ÝoBG-da suwuň derejesi 75 mm ýetende I predel işläp ÝoBG ýatýar, eger-de suwuň derejesi galyp 325 mm ýetse onda II predel işläp turbina ýatýar.

5. Iýmitlendiriji nasosyň ikisi hem bir wagtda ýatsa onda 20 sekunt geçenden soňra turbina ýatýar.

6. Kondensatorda Wk-yň derejesi 540mmrt.st düşse Os generatora tarap 1,2 mm ÝoBS-e tarap 1,7 mm süýsse turbina ýatýar.

7. Ýiti we aralyk gyzdyrylýan bugyň temperaturasy galyp 750°C ýetende 5 minudyň dowamynda düzedilmese onda turbina awtomatiki usulda ýatýar.

Rotoryň esasy detallarynyň berkiige hasaplamasy. Turbina elementleriniň deformasiýasy we naprýazeniýe usullary

Islendik konstruksiýanyň ygtybarlylygy ilkinji nobatda onuň elementleriniň işleýiş şertleri we taýýarlanan materialynyň häsiýeti bilen kesgitlenýär. Çylşyrymly konstruksiýalaryň esasy enjamy bolup bug turbinalary gulluk edýär. Onuň elementlerine hemişelik we üýtgeýän güýçler gulluk edip durýar, şu elementler çygly sredada ýokary temperaturada korroziýa we çökünci gatlaklaryna şeýle hem erozion iýilmä sezewar bolýar.

Ýangyç tygşytlamak zerurlygy bug basyşynyň we temperatura ýokarlanmagyna getirýär, konstruksiýanyň metallaryny azaltmak talaby detallaryň ýokarlandyrylan ýüklenmede ýasalmagyna mejbur edýär. Şol bir wagtda konstruksiýanyň gerekli ygtybarlygyny üpjün edýär. Konstruksiýa elementleriniň ygtybarlylygyny kesgitlemek üçin onuň iş prosesinde döreýän naprýazeniýa we deformasiýa hasaplamasyny hökmany geçirmelidir. Häzirki wagtda şu usullaryň hasaplamasy üçin maýyşgaklyk, plastiklik we akyjylyk usullaryny peýdalanýarlar. Maýyşgaklyk teoriýasynyň esasy meselesi bolup dürli formadaky maýyşgak jisimleriň dürli güýçleriň täsirindäki ýagdaýy öwrenilýär. Maýyşgaklyk teoriýasynda jisimde döreýän naprýazeniýa bilen onuň deformasiýasynyň arasynda bir baglanşyk bar (maýyşgaklyk güýji) jisim ýüklenmeden boşadylandan soňra başdaky ýagdaýyna gaýdyp gelýär.

Maýyşgaklyk teoriýasy usuly köp ýagdaýlarda detalyň deformasion we naprýazeniýa ýagdaýlaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär, şol bir wagtda detalyň formalarynyň köp dürliligi we çylşyrymlylygy hem-de täsir edýän güýçleriň dürlüligine baglylykda köplenç goýlan meseläni takyk işlemekde mümkinçilik berýär. Ýöne mesele takyk işlenende-de maýyşgaklyk teoriýasy konstruksiýanyň dargama şertini öňünden aýdyp bilmeýär.

Real konstruksion materiallaryň esasy aýratynlyklary bolup naprýazeniýa bilen deformasiýanyň arasyndaky baglanşyk bir belgili bolup bilmeýär. Material ýüklenende we boşadylanda bu baglanşyk dürli kanunlara boýun egýär. Şeýle materiallara plastiki diýilýär.

Plastiklik teoriýasynyň esasy meselesi-dürli formadaky jisimleriň, dürli güýçleriň täsirinde materiallaryň häsiýet wagta görä üýtgemeyän setinde naprýazeniýa we defonnasiýa bolup durýar. Plastik teoriýasynyň meselesi bir ölçegli goýlanda (maýyşgaklyk teorisýasy ýaly) eger-de ýüklenmede we

boşadylmada materialyň deformirlenme kanuny belli bolan ýagdaýynda matematiki meselä öwrülýär. Şu kanunlar hökmünde naprýazeniýa we deformasiýa aralygyndaky hakykyk gatnaşyklar peýdalanylýar. Şeýle hem eksperimental alnan gatnaşyklar ualynlýar. Maýyşgaklyk teoriýasyndan tapawutlylykda çylşyrymly naprýazeniýanyň ýagdaýynda materialyň özüni alyp barşyny ýazgylar geçirilende plastiklik teoriýasynda naprýazeniýa, deformasiýa komponentleriniň arasyndaky baglanşyklarynyň gipotezalaryndan peýdalanmaly bolýar. Şu gipotezalar ýönekeý empriki gatnaşyklar sany bilen hökmanydyr.

Dürli naprýazeniýa ýagdaýynda materialyň özüni alyp barşynyň ýagdaýynyň ýazgylary geçirilende hökmanydyr. Şeýle hem çäksiz ýokarydyr. Häzirki wagtda plastiklik teoriýasy iki topara bölünýär.

1. Plastikligiň deformasiýa teoriýasy.

2. Akyjylyk teoriýasy.

Birinjisinde gipoteza hökmünde plastiklik kanuny naprýazeniýa we deformasiýa ýokarlanmagy bilen naprýazeniýa ýokarlanmagynyň ýa-da deformasiýa tizligini baglanyşdyrýar.

Ikinjisinde gipoteza hökümünde naprýazeniýa we deformasiýa öz arasynda ahyrky gatnaşyklar bilen baglanşykly diýip alynýar. (ýüklenme we naprýazeniýe üçin dürli alynýar). Şu gipotezalaryň biri saýlananda plastiklik teoriýasynyň meselesi matematiki meselä öwrülýär. Maýyşgaklyk teoriýasy ýaly plastiklik teoriýasy hem materialyň dargama şertini öňünden aýdyp bilmeýär. Munuň üçin goşmaça şertlerden hökmany peýdalanmalydyr.

Berkük gipotezasy.

Akyjylyk-ýokary temperaturada ereme temperaturanyň takmynan ýarysynda materialyň spesifiki häsiýet ýüze çykyp başlaýar. Hemişelik ýüklenmede materialyň deformasiýasynyň dargama çenli yzygider ýokarlanýar. Şeýle häsiýetine akyjylyk diýilýär.

Aýlanýan diskde naprýazeniýa we deformasiýa.

Diskleriň ýüklenmesi.

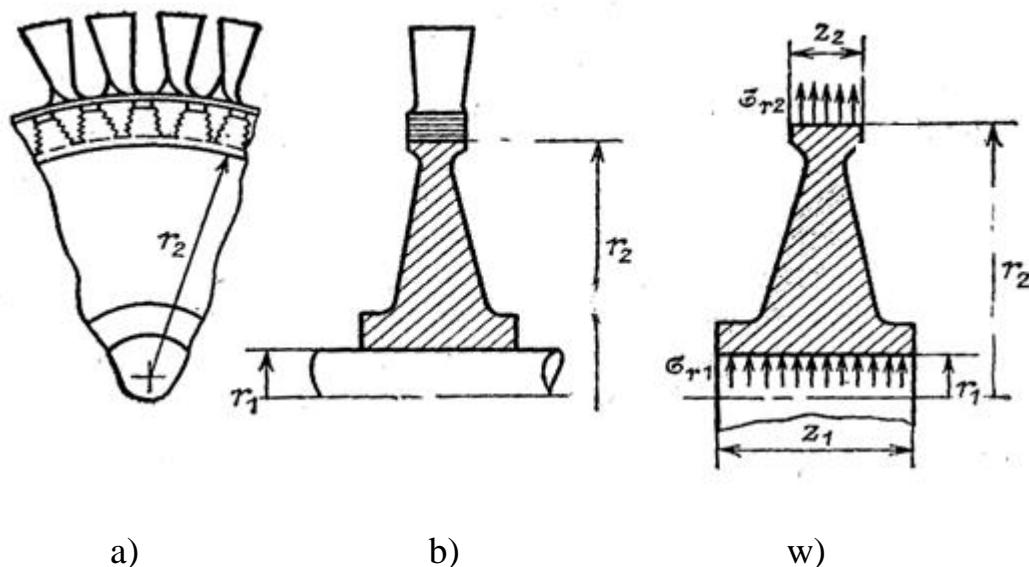
Turbinalarda işleýän diskler merkezden gaçma güýçleriň disk gyralaryndaky üstlerde basyşa tapawutlar, pilçelerdäki işçi jisim bilen döreýän aýlanma güýçler, diskiň wala birikdirilen ýerinde döreýän güýçler we temperatura naprýazeniýasy bilen ýüklenilýär, köplenç diskiň iki gyralaryndaky basyş tapawutlary uly bolmaýar we disk бүкүлmesindäki naprýazeniýa beýleki güýçleriň naprýazeniýasyndan uly däl. Aýlanma tizlikleriň täsirinde diskde döreýän naprýazeniýa örän kiçi. Durnukly rezimde turbina işledilende gyralaryň

temperaturasy birmeňzeş. Şonuň üçin temperatura naprýazeniýasyny aýyrmak mümkindir.

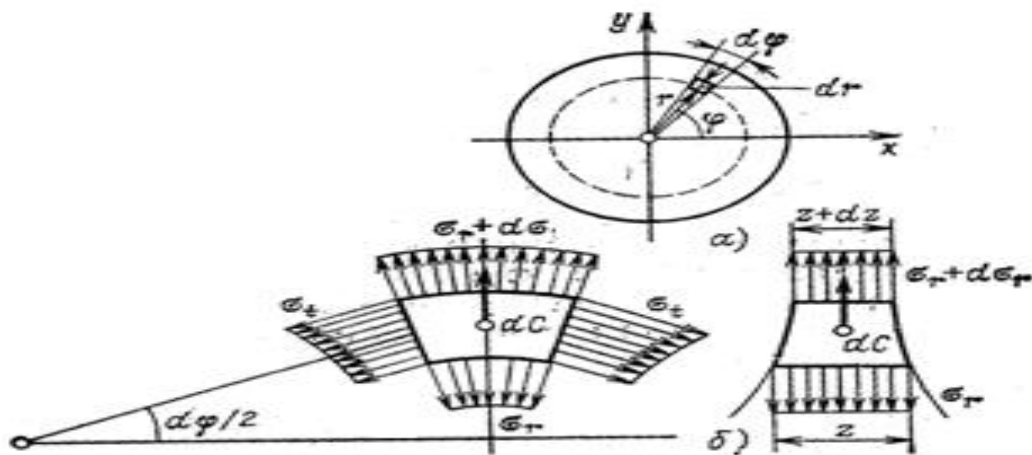
Diskdaky naprýazeniýalar diňe merkezden gaçma güýçleriň we diskiň wala birlikdirilen ýerlerinde bolýar diýip hasap edilende diskdaky naprýazeniýalary maýyşgaklyk teoriýasynyň üç ölçegli meselesini çözmeli bolýar.

(Meselem: ahyrky elementler usuly ýa-da polýar optiki usuly.)

Aýlanýan diskde naprýazeniýa ýaýramaklygyň esasy aýratynlyklaryna bir ölçegli oka simmetrnyý meseläni işläp gözegçilik etmek mümkindir. Disk radiusyny r_2 bilen çäklendirilýär.



1-nji çyzgy. Turbina diskiniň ýüklenmesi. a,b,-turbina diski, d-diskiniň ýüklenme shemasy. z1 disk wtulkasynyň ini.



2-nji çyzgy. Elementlerinde naprýazeniýa we güçler shemasy. a) koordinatalar sistemasy, b) tükeniksiz kiçi elementiň üstünde naprýazeniýa.

Radiusy r_2 pilčaniň oturdydan düýbine çenli alynýar. r_2 radiusly disk gyralarynda naprýazeniýa aşakdaky formulalar bilen kesgitlenilýär.

$$\sigma_{r_2} = \frac{P_{\wedge} + P_{0\delta}}{2\pi E_2 Z_2} \quad (1)$$

P_A -ähli pilçeleriň gaçma güýçleri eger-de bandazly ýa-da himet bolanda göz önünde tutulýar.

P_{ob} - r_2 radiusyndan ýokarda ýerleşen diskara üstünniň şertli merkezden gaçma güýji, pilçeli diskler üçin P_{ob} merkezden gaçma güýçlerden $2/3$ bölegini tutýar. Şol ýagdaýda halka görnüşinde bolýar we öz merkezden gaçma güýçleriniň ýüzünde bölegini öz üstüne alýar.

Ok tipli pilçeleri bolan disklerde P_{ob} disk gyrasynyň merkezden gaçma güýj i bilen gabat gelýär. Disk wala çekdirilip oturdylanda olaryň gatnaşma üstlerinde σ_{r_1} naprýazeniýa döreýär.

Eger-de wtulka iki diskiň gyrasynyň içinden köp tapawutlanýan bolsa, onda şu naprýazeniýa galtaşma üstlerinde meňzeş hasaplamak mümkindir. Şu kabul edilenlere degişlilikde diskdäki naprýazeniýany deformasiýalandyrylan r_1 we r_2 radiusly ýüklenme radial naprýazeniýalary bolan σ_{r_1} we σ_{r_2} şeýle hem aýlanýan burç tizlikleri ω seredýäris.

Umumy deňlemeler. Goý, naprýazeniýa disk galyňlygyna görä üýtgemeyär. Kordinat hökmünde r radius we burç is alýarys. r -radiusda diskiň z -galyňlygy bar.

Diskiň tükeniksiz kiçi elementiniň deňagramlylygyna iki merdional we iki silindriň üstler bilen çäklendirilen ýagdaýyna seredýäris. Meridional üstlerinde normal naprýazeniýa σ_T silindrinde σ_r belgilenýär.

Oka simmetriki güýçleriň meselesini şu üstlerdäki galtaşýan naprýazeniýe ýok we degişlilikde normal naprýazeniýe esasy bolup durýar.

Diskiň tükeniksiz kiçi elementlerinde agyrylyk merkezinde merkezden gaçma güýçde berilendir. Bölünip alynan elementleriň üstlerine täsir edýän güýç silindriň üstlerinde dürlidir.

$$z \cdot r \cdot \sigma_r \cdot d_{is}$$

$$(z + dz) + (r + dr) \operatorname{dis} \left(\sigma_r + \frac{d\sigma_r}{dr} dr \right)$$

meridional üstlerde birmeňzeşdir.

$$(z + dz) + (r + dr) \operatorname{dis} \left(\sigma_r + \frac{1}{2} \frac{d\sigma_r}{dr} dr \right)$$

merkezden gaçma güýji:

$$dc = \rho \left(r + \frac{dr}{z} \right)^2 \cdot \operatorname{dis} \left(z + \frac{dz}{z} \right) \omega^2 \cdot dr$$

ρ -disk materialynyň şu güýçleriň tekizligi proyeksiýalarynyň jemi elementiň agyrylyk merkeziniň üstünden geçende 0-1 -a deňdir.

Yokary hataryň tükeniksiz kiçiligi göz önünde tutup aýyrýarys. Şeýle hem $Hn \frac{dis}{2} = dis/z$ deňdigini göz önünde tutup aýlanýan element üçin şertli deňagramlyly alýarys.

$$\frac{d(r \cdot z \sigma_r)}{dr} = 2\sigma_T + \rho \omega^2 \cdot r^2 \cdot 2 = 0 \quad (2)$$

Şu deňleme σ_2 we σ_T aralygynda baglanşyk döreýär we deňagramlylyk deňlemesi diýilýär.

Baglanşdyrylanda diskiň naprýazeniýe bölnen otnositel süýnmede girýär. Eger-de disk radiusy r , ξ ululyk üýtgeýän bolsa onda tükeniksiz kiçi elementiň ölçegi dr ($d\xi/dr$)dr ululyk ýaly üýtgeýär. Radial ugurdaky otnositel süýnme ululygy σ_r aşakdaky ýaly kesgitlenilýär.

$$E_r = \frac{d\xi}{dr} \quad (3)$$

r -radiusyň ξ ululyk üýtgemegi bilen töwerek uzynlygy $2\pi\xi$ ýaly üýtgeýär. Töwereginiň ugruna otnositel süýnmegi E_T

$$E_T = \frac{2\pi(z + \xi) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{\xi}{r} \quad (4)$$

(4) formuladan

$$\frac{d\xi}{dr} = \xi_T + r \left(\frac{dE_T}{dr} \right)$$

$\frac{d\xi}{dr}$ — ululygy (3) formula goýýarys.

$$\frac{dE_T}{dr} + \frac{E_T - E_r}{r} = 0 \quad (5)$$

Şu deňlemä bilelikdäki deformasiýa deňlemesi diýilýär. Deňagramlylyk we bilelikdäki deformasiýa deňlemesine 4 sany näbelli girýär σ_r , σ_T , E_r , E_T . Deňlemeler sistemasyny ýapmak üçin umumylaşdyrylan günün kanuny peýdalanmaly.

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \frac{\sigma_r - \nu \sigma_T}{E} \\ E_T &= \frac{\sigma_T - \nu \sigma_r}{E} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ν - Puaskon koeffisiýenti

E -maýyşgaklyk moduly.

Günüň umumlaşdyryla kanuny peýdalanyň naprýazeniýalar σ_r , σ_T bilen ýazylan bilelikdäki deňlemelerini ýazýarys.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + (1+\nu) = \nu \frac{d\sigma_r}{dr} + (1+\nu) \frac{\sigma_r}{r} \quad (7)$$

(7) deňleme (2) deňleme bilen bilelikde deşikdäki naprýazeniýany kesgitlemäge mümkinçilik berýär we bir hatarly göni çyzykly deňlemeler sistamasyny berýär.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(r\sigma_r - 2)}{dr} z\sigma_T &= -\rho\omega^2 r^2 z \\ \frac{d\sigma_T}{dr} - \nu \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{(1+\nu)}{r} (\sigma_T - \sigma_r) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Değişlilikde bir jynssyz sistemanyň çözgüdi onuň hususy çözgütleriniň we bir jynsly sistemanyň umumy çözgütleri aşakdaky ýaly kesgitlenip bilner.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(r\sigma_r z)}{dr} - z\sigma_T &= 0 \\ \frac{d\sigma_T}{dr} - \nu \frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{(1+\nu)}{r} (\sigma_T - \sigma_r) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Eger-de σ_r , σ_T bir jynsly sistemanyň çözgüdi bolup durýan bolsa, onda $k\sigma_r$, $k\sigma_T$ we hem çözgüt bolup durýar, muny (9) deňlige goýup we barlamak mümkindir. Eger-de σ_r , σ_T bir jynsly sistemanyň hususy çözgüdi bolýan bolsa, onda onuň umumy çözgüdi:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_r^I + k\sigma_r^{II} \\ \sigma_T &= \sigma_T^I + k\sigma_T^{II} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Şu çözgüt 8-nji sistemanyň dürli araçäk şertlerinde kanagatlandyrylar. Şu çözgüt disklerdäki naprýazeniýany kesgitlemek usulyna esaslanandyr, şeýle hem ilki hasaplama usuly diýilýär. Usulyň esasyna aşakdaky düşüňjeler girýär.

1. Bir jynsly sistema (9) naprýazeniýalaryň saklanan diskde ýaýradylandygyny görkezýär. ($\omega = 0$)

2. Bir jynsly we bir jynssyz sistemalaryň çözgütleri dürli araçäk şertlerinde bolup geçýär.

3) Diskde naprýazeniýanyň ýaýramak meselesiniň araçäk şertlerine baglylykda aýatynlyklary bar: işiň silindr üçin radial naprýazeniýa bahalary belli we silindriň pereteriýasyna çäkli tangensial naprýazeniýa bahalary näbelli. Bitewi diskde radial naprýazeniýa belli we tangensial naprýazeniýa bahalary näbellidir. Merkezinde bolsa radial we tangensial naprýazeniýalar birmezeşdir. Şeýlelikde araçäkdäki naprýazeniýalaryň ($\sigma_{r_1} \sigma_{t_1} \sigma_{t_2} \sigma_{r_2}$) bahalary diňe 2-si bilelidir. Hasaplama usuly aşakdaky ýaly amala aşyrylýar.

1. (8) we (9) deňlemeleriň çözgütlerini formula, grafik aý-da san görnüşinde alynan araçäk şertlerinde σ'_r, σ'_T we duran diskde σ_r, σ_T hasaplanýar.

2. Şu iki hasaplamanyň araçäk çyzyklaryny alynanda olaryň biri ýerine ýetirilýär ýa-da şonuň ýaly edilip saýlanylýar.

3.(10) gatnaşygyň kömegi bilen k hemişeligiň bahasyny ikinji araçäk şertini ýerine ýetirer ýaly alynýar.

4. Ähli disklerde kanuny naprýazeniýa k bahasynyň tapylanyny peýdalanyp (10) formula bilen kesgitlenýär.

Hemişelik galyňlykda diskde ýuka halkada barabanda naprýazeniýa.

$$\frac{d^2 \xi}{dr^2} + \left[\frac{d(\ln z)}{dr} + \frac{1}{2} \right] \frac{d\xi}{dr} + \left[\frac{\nu}{r} \frac{d(Enz)}{dr} - \frac{1}{r_z} \xi + A \cdot 1 \right] = 0 \quad (1)$$

Hemişelik galyňlykly disk üçin ($2 = \text{const}$) absolýut süýnme deňlemesi.

2-e görä (1) deňlemäniň önümi 0-a deň bolýar, netijede deňleme aşakdaky görnüşe gelýär.

$$\frac{d^2 \xi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\xi}{dr} - \frac{\xi}{r_z} = Ar \quad (2)$$

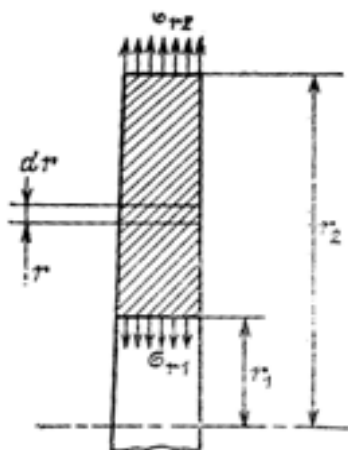
A-nyň bahasy metalyň häsiýetine we aýlanma ýygylgyna baglydyr.

$$A = (1 - \nu^2) \rho \omega^2 / E$$

(2) deňleme yzygiderli integrirlenenden soňra aşakdaky görnüşe gelýär.

$$\frac{d^2 \xi}{dr^2} = a - \frac{b}{r^2} - \frac{3}{8} Ar^2 \quad (3)$$

$$\xi = ar + \frac{b}{r} - \frac{Ar^2}{8} \quad (4)$$



*1-nji çyzygy. Tekiz diskiň ötüge agram tzsir
shemasy.*

Absolýut süýnme bilen ýazylan radial tangensial naprýazeniýalar

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{d}{dr} \right) \\ \sigma_r &= \frac{E}{1-\nu^2} \cdot \left(\frac{\xi}{r} - \nu \frac{d\xi}{dr} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(3) we (4) deňlikleri (5) deňlemä goýup hemişelik galyňlykly radial we tangensial naprýazeniýalar kesgitleýär.

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left[(1+\nu)a - (1-\nu)\frac{b}{r^2} - (3+\nu)\frac{Ar^2}{8} \right] \quad (6)$$

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left[(1+\nu)a - (1-\nu)\frac{b}{r^2} - (3+\nu)\frac{Ar^2}{8} \right] \quad (7)$$

a we b hemişelikler araçäk şertleri üçin kesgitleýäris.

Yşly disk üçin $r=r_1$ bolanda $\sigma_r = \sigma_{r1}$

$r=r_2$ bolanda $\sigma_r = \sigma_{r2}$

Yşsyz disk üçin $r=0$ bolanda $\sigma_r = \sigma_{r1}$

$r=r_2$ bolanda $\sigma_r = \sigma_{r2}$

Yşly disk üçin araçäk şertleriniň ulanyp (6) we (7) deňlemeleri ulanyp a we b hemişelikleri kesgitleýäris.

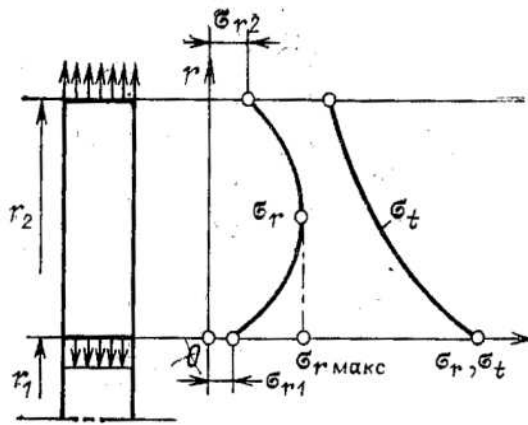
$$a = \frac{1-\nu}{E} \left(\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) \sigma_{r2} - \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \sigma_{r1} + \frac{3+\nu}{1+\nu} \frac{A}{8} (r_2^2 - r_1^2) \quad (8)$$

$$b = \frac{1-\nu}{E} \cdot \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot (\sigma_{r2} - \sigma_{r1}) + \frac{3-\nu}{1-\nu} \cdot \frac{A}{8} r_1^2 \cdot r_2^2 \quad (9)$$

alynan deňlikleriňizi (6) we (7) deňlemä goýup hemişelik galyňlykly diskde radial we tangensial naprýazeniýalary kesgitleýäris.

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \sigma_{r2} - \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \sigma_{r1} + \\ &+ \frac{3+\nu}{8} \left(r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_1^2 r_2^2}{r_2^2} - r^2 \right) \cdot \rho \omega^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \sigma_{r2} - \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} \sigma_{r1} + \\ &+ \frac{3+\nu}{8} \left(r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_1^2 - r_2^2}{r_2^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right) \cdot \rho \omega \end{aligned} \quad (11)$$



2-nji çyzgy. Merkezi ötügiň naprýazeniýäniň tekiz diskde ýaýraýşy.

Merkezi ýşly diskde naprýazeniýanyň ýaýraýşy

Radial naprýazeniýa r_1 we r_2 radiuslaryň arasynda maksimum bahasyna ýetýär. tangensial naprýazeniýa içki ýüzünden maksimal bahasyna eýedir. Wala çekilip deşilen diskleriň iç ýüzünde gyraky radial naprýazeniýa döreýär. Birnäçe aralykdan aýlanma okundan daşyrakda naprýazeniýa alamatyny üýtgetýär we soňra çekiji bolup durýar.

Eger-de aýlanýan disk daşky güýçler bilen ýüklenmedik bolsa radial naprýazeniýalar düýbünde we pereferiýasynda okdan tapawutly bolup durýar we çekiji bolup durýar. İç ýüzüniň radiusyny kiçeldilse tangensial naprýazeniýalar onuň üstünde ýokarlanýar. Egerde $r_1 \rightarrow 0$ tangensial naprýazeniýa maksimal bahasyna ýetýär. Ýşsyz disk üçin integrirlenme hemişeligi $b=0$ bolmalydyr. Ýşsyz disk üçin araçäkli şertlerini meýdanlary (a) hemişeligiň bahasyny (6) deňlemeden kesgitleýis we hemişelik galyňlykly tekiz disk üçin radial we tangensial naprýazeniýalaryň formulasyny alýarys.

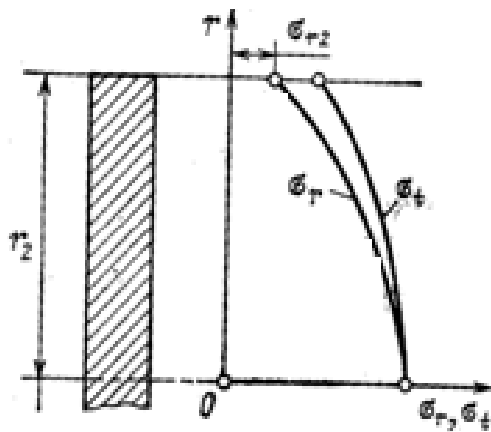
$$\sigma_r = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (r_2^2 + r^2) + \sigma_{r2} \quad (12)$$

$$\sigma_t = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left(r_2^2 + \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right) + \sigma_{r2} \quad (13)$$

Tekiz diskde naprýazeniýanyň ýaýramagy.

(12) we (13) deňlemelerden görnüşi ýaly radial we tangensial naprýazeniýalar diskiň okunda binneňzeşdir we ýokary baha eýedir.

Diskiň periferiýasynda naprýazeniýa σ_{r2} deň, periferiýadaky tangensial naprýazeniýa radial naprýazeniýadan ulydyr. Yasy diskde naprýazeniýalaryň hem çekijidir.



1-nji çyzgy. Naprýażeniýäniň üznüksiz tekiz diskde ýaýraýşy

Yuka halka

Eger halk radius bilen deňeşdireniňde galyňlygy δ kiçi ($r_1=r_2=r$) onda ýuka halkadaky tangensial naprýazeniýa

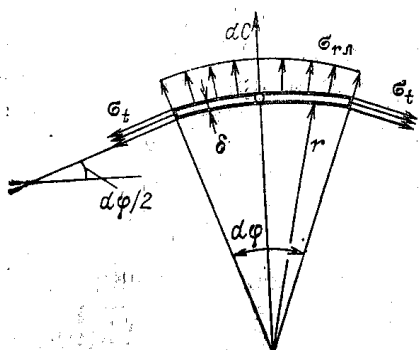
$$\sigma_r = \rho(\omega r)^2 \quad (14) \quad \sigma_r = 0$$

Günüň umumlaşdyrylan kanunyň kömegi bilen deformasiýany tapýarys.

$$E_r = \frac{\nu \rho u^2}{E} E_T = \frac{\rho u^2}{E}$$

$$u = \omega r \text{ -aýlanma tizlik}$$

Baraban ýuka diwarly tükeniksiz uzyn baraban önüm galyňlygy δ , radiusy r bilen deňeşdirilende örän kiçi soňra ýuka halkadaky ýaly deformirlenýär. Şeýle barabanlarda naprýazeniýa (14) formula bilen kesgitlenilýär. Turbina gurluşynda reaksiýa turbinalarynyň kompressorlaryň içki pilçeleriň döredýän nagruzkalaryny hökman göz önünde tutmalydyr. Şu nagruzka naprýazeniýanyň döremegine getirýär. Şeýle ýagdaýlarda merkezden gaçma düýp işçi piçelerden täsir edýän goşamaça güýçlerigoşamalydyr. Işçi pilçelerden radial nagruzkan barabanyň üstünde deň ýaýramalydyr we onuň infiksiwligi σ_{rA} naprýazeniýanyň bahasy bilen kesgitlenilýär.



1-nji çyzgy. ýuka diwarly barabanyň elementiň agram tzsir shemasy.

Ýuka diwarlybaraban elentiniň daşky güýçleri bilen ýüklenme shemasy. Baraban elementiniň goşmaça dc_A güýç täsir edýär, alynan elementiň du burç 2 uzynlyk bilen çäklendirilendir. Netijese barabanda σ_{tA} naprýazeniýe döreýär. Barabanda alynan elementiň deňagramlylyk deňlemesini düzýäris.

$$\sigma_{tA} \cdot z \cdot \delta \cdot dis = \sigma_{rA} \cdot z \cdot r \cdot dis$$

σ_{tA} - ululygyt apýarys.

$$\sigma_{tA} = \frac{r}{\delta} \sigma_{rA} \quad (15)$$

Barabanda tangensial koprasiýa merkezde goşmaça güýç we işçi pilçelerden döreýän naprýazeniýanyň jemine deň.

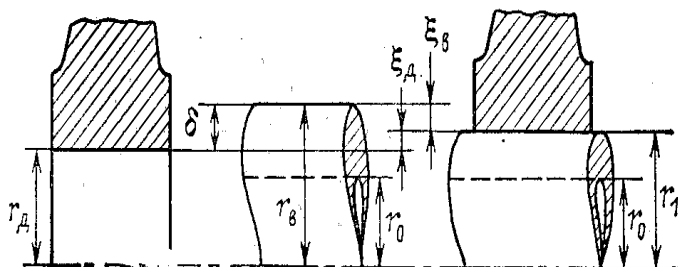
$$\sigma_t = \rho u^2 + \frac{2}{\delta} \sigma_{rA} \quad (16)$$

Üýtgeýän profilli diskde naprýazeniýa hasaplamasy

Bir jynssyz deňlemeler sistemasynyň çözgütleri dizulyň käbir forma profilleri (ýasy, konus, giperbloki) üçin ýerine ýetirilendir. Turina diski çylşyrymly forma eýe, olary bu ýerleriň biri bilen taryh ýazyp bolmaýar. Umumy ýagdaýda ahyrky elementler usuly bilen diskiň islendik formasy üçin san çözgütleriniň almak mümkindir. Şonuň bilen birlikdemeselänihas-daýönekeýleşdirmek mümkin. Ýagny 'ýönekeý formaly disks üçin ýazylan çözgütleri peýdalanyp alynýar.

Tekiz disk üçin çözgütleri peýdalanyp çylşyrymly formaly diskleriň hasaplama usullaryna seredeliň. Munuň üçin üýtgeýän profilli diski hemişelik galyňlykly halkadan düzülen baglanyşmaýan disk bilen çalyşýaryn halkalaryň

sanyny disk profilleriniň mermerinde "basgançaky neser ýaly alynýar".



7-nji çyzgy. Çylşyrymly profilli diskiň hasaplamasy.

Hemişelik galyňlykly uçastogyndan beýlekisine geçende radial we tangensial naprýazeniýalar araçäkde böküşi üýtgeýär. 7-nji çyzgydaky r-radiusdaky araçäkde naprýazeniýa σ_m -den $\sigma_m + 1$ üýtgeýär we σ_m -den σ_{m+1} çenli üýtgeýär. Diskiň iki bolsa Z_n –den Z_{n+1} çenli üýtgeýär. Islendik radially silindrik witde şu naprýazeniýalar hemişelik hasap edilýär, onda n uçastokdaky r radiusly silindrik üstde şu naprýazeniýalar P_n güýç täsir edýär. n+1 uçastokda şol radiusda silindrik üstde P_{nH} güýç döreýär.

$$P_{n+1} = 2\pi r \cdot 2_{n+1} \cdot \sigma_{2(n+1)}$$

Şu sert ýagny deňagramlylyk ýagdaýyna görä güçler birmeňzeş bolmalydyr. $P_n = P_{n+1}$, şeýle hem σ_m we $\sigma_{r(m+1)}$ naprýazeniýanyň arasyndaky baglansygy görkezýär.

$$\sigma_r(n+1) = \sigma_m \frac{Z_n}{Z_{n+1}} \quad (17)$$

Mundan başga-da r-radiusda disk materialynyň gönümellik sert ýerine ýetmelidir. Biri-birine degişip duran uçastoklary süýşmegi aýrylma araçäginde birmeňzeş bolmalydyr.

$$\xi = \frac{r}{E}(\sigma_m + \nu\sigma_m) = \frac{r}{E}(\sigma_{m+1} + \sigma_{m+1})$$

Şu sert biri-birine degişip duran uçastoklaryň arasyndaky gatnaşyklaryny almaga mümkinçilik berýär. Şeýle hem böküşli üýtgeýär.

$$\sigma_{m+1} = \sigma_m + \nu\sigma_{r\Lambda} \left(\frac{Z_n}{Z_{n+1}} - 1 \right) \quad (18)$$

Şeýle-de öňden belleýşimiz ýaly araçäk şertleri bellidir, ýagny disk perifriýasyndaky σ_{r2} naprýazeniýa we düýbündäki naprýazeniýa bahalary bellidir. Her bir uçastogyň çözgütlerinde naprýazeniýahasaplamalaryny σ_r we σ_t üçinýazylyan (10) we (11) formulalary peýdalanylýar. Şol naprýazeniýalar kesgitlemekden soňra goňşy uçastogyň araçäklerindäki naprýazeniýalary (17) we (18) formulalar bilen kesgitleňýär. Olaryň esasy wariantlary we etaplary ikinji temamyzda düşündirilýär.

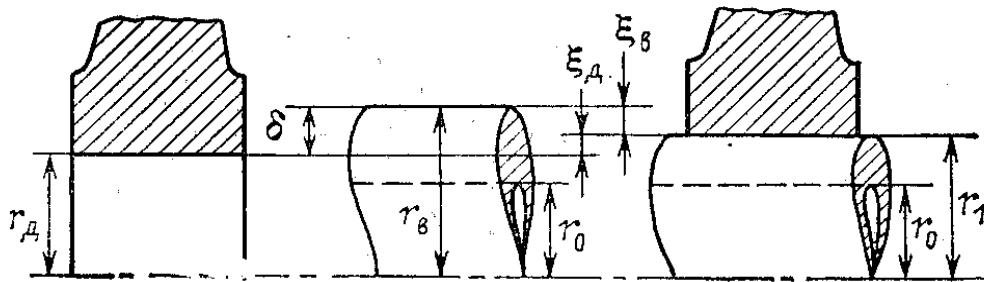
Aýlanma ýygylýkda boşadyjynyň we dartgynyň kesgitleňmesi

Turbina diskini wala çekdirip merkezlemedäki we aýlanma momentini geçirmekligi üpjün etmek üçin oturdylýar. Rotor aýlanmaýan wagty disk düýbünden çekdirip dakylmagy netijesinde döreýän radial naprýazeniýa maksimal

bahasyna eýe bolýar. Aýlanma ýygylýgyň artmagy bilen diskiň düýbünde radial naprýazeniýa azalýar kesgitli aýlanma ýygylýgynda wal bilen disk düýbünüň aralygynda yş emele gelýär, disk boşalýar. Diskiň wala çekdirilip daňylanýerinde (düýbünde) aýlanma ýygylýgyndaky radial naprýazeniýa 0-1-a deň bolýar we boşadyjy aýlanma ýygylýgy döreýär.

Oturdylyp çekdirdilmeler rotoryň dürli diapazonlarynda üýtgeýär. Aýlanma ýygylýgynda-da disk boşamaz ýaly ýerine ýetirdilmelidir. Berk çekdirmek hem bolmaýar, ýagny ol diskde naprýazeniýa derejesiniň ýokarlanmagyna getirýär. Rotoryň ygtybarly işlemegi boşadyjy aýlanma ýygylýgynyň işçiden 15-20% uly bolmadyk ýagdaýynda üpjün edilýär.

$$W=W(1,15-1,20)$$



14.8-nji çyzgy. Diskiň wala oturdylyşy.

Oturdylamadan soňra diskiň we walyň radiusy birmeňzeş we r_1 -a deň, munda diskiň we walyň absolýut deformasiýalary ξ_D , ξ_B deformasiýa birmeňzeş degişlilikde boşadylan ýagdaýynda we çekdirilen ýagdaýynda radiuslarynyň tapawudyna deň.

$$\left. \begin{aligned} \xi_D &= r_1 - r_D \\ \xi_B &= r_B - r_1 \end{aligned} \right\} \quad (14.30)$$

Çekdirilme $\Delta = 2\delta$

(14.29) we (14.30) formulalar boýunça disk we wal konstruksiýalarynyň kontakt üstleriniň radial süýşmegi bilen baglanşyklydyr.

$$\Delta = 2(\xi_D + \xi_B) \quad (14.31)$$

Süýşmäniň ululyklary ξ_D we ξ_B disk we wal kontakt üstleriň naprýazeniýasynabagly bolup durýar. Gukuň kanunyna görä ξ_D we ξ_B ululyklarynyň ugurlaryny göz önünde tutup alýarys.

$$\left. \begin{aligned} \xi_D &= \frac{r_1}{E_D} (\sigma_{r1} - \nu \sigma_{r1}) \\ \xi_B &= \frac{r_1}{E_B} (\sigma_{rB1} - \nu \sigma_{rB1}) \end{aligned} \right\} \quad (14.31)$$

σ_{tB1} we σ_{rB1} walyň disk bilen kontaktly üstlerinde tangensial we radial naprýazeniýalar.

Walyň we diskiň galtaşýan üstlerinde täsir edýän radial naprýazeniýalar bahalaryň boýunça birmeňzeşdir.

$$\sigma_{rB1} = \sigma_{r1}$$

Diskiň we walyň materiallarynyň maýyşgaklyk moduly birmeňzeş diýip alýarys ($E_D = E_B = E$) we (32) deňligi (31) gatnaşyga goýup dartgynyň kesgitleniş fonnulasyny alýarys.

$$\Delta = 2 \frac{U}{E} (\sigma_{t1} - \sigma_{tB1})$$

Şeýlelikde dartgyny hasaplamak mümkin. Eger-de disk bilen walyň galtaşýan üstlerinde tangensial naprýazeniýalar oturdylan ýerinde belli bolsa hasaplanylýar. Şu naprýazeniýalaryň bahalary diskleriň we walyň konstruksiýalaryna bagly bolup durýar we bir mesele üçin öz gatnaşyklary bilen kesgitlenýär. Oturdylyan diskli rotorlaryň köpüsinde uzyn wala derek onuň naprozon bölegine seretmek mümkin (disk basgançagynyň galyňlygy bilen çäklendirilen). Şu ýagdaýlarda σ_{TB} ululygynyň hasaplamaşy hemişelik b galyňlykly r_1 radiusly merkezden gaçma ýüklenen güýçli wala disk oturdylmasyndan güýçler bilen täsir edýär, disk naprýazeniýasynyň kesgitlemesine getirýär.

Düzgün boýunça rotoryň waly içinde swerlit edilen onuň üsti ýüklenmedik onuň radiusy r_0 deň, onda şeýle üstüniň tangensial naprýazeniýasy (11) deňleme bilen kesgitlenilýär. Ondaky ikillik indekslere derek birlik ulanylýar we walyň içki ýüzünde radial naprýazeniýa ýok ($\sigma_{r0}=0$) kämilleşdilenen soňra indiki formulany alýarys.

$$\sigma_{tB1} = \frac{1t \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2} \cdot \sigma_{rst} + \left[(1-\nu) + (3+\nu)^2 \right] \frac{\rho(w_r)^2}{2} \quad (14.34)$$

Şu deňligi (14.33) deňlemä goýup Δ dartgy bilen diskiň iç ýüzündäki σ_{tD} we σ_{r1} naprýazeniýalaryň arasyndaky gatnaşygy alýarys. $\sigma_{tD} = \sigma_{t1}$ we σ_{r1} naprýazeniýalar aýlanýan diskiň ýüklenen ýagdaýynda içki ýüzündäki araçäk şertleri bolup durýar.

$$\Delta = 2 \frac{U}{E} \left\{ \sigma_r - \frac{1t \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2} \cdot \sigma_{r1} + \right. \\ \left. + \left[(1-\nu) + (3+\nu) \cdot \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2 \right] \frac{\rho (wr_1)^2}{2} \right\} \quad (14.35)$$

Gerekli dartgyny kesgitlemek üçin walyň diske oturdyлма hasaplamasynda aýlanma ýygylýkda boşadyjy bilen baglanşdyrylmaly diskiň içki ýüzünde aýlanma ýygylýgynyň boşadyjysyny W^* , tangensial naprýazeniýany σ_{t1}^* belleýäris, şu aýlanma ýygylýgynda radial naprýazeniýalar diskiň içki ýüzünde 0-1-a deň onda (14.35) deňlemäniň indiki görnüşi gelýär.

$$\Delta = 2 \frac{U}{E} \left\{ \sigma_{r1}^* - \frac{1t \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2}{1 - \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2} \cdot \sigma_{r1} + \right. \\ \left. + \left[(1+\nu) + (3+\nu) \cdot \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2 \right] \frac{\rho (wr_1)^2}{2} \right\} \quad (14.36)$$

(2) we (11) formulardan görünýär. Erkin aýlanýan diskde tangensial naprýazeniýalar aýlanma ýygylýgynyň kwadratyna proporsionaldyr.

$$\left(\frac{\sigma_{r1}^*}{\sigma_{r1}} \right) = \left(\frac{W^*}{W} \right) \quad (14.37)$$

(14.31) deňligi (14.36) goýup aýlanma ýygylýgyndan boşadylyşyny kesgitleýän baglanşyk alýarys.

$$W^* = W \left\{ \frac{\Delta E}{2_{r1} \left\{ \sigma_{r1} - \left[(1-\nu) + (3+\nu) \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \frac{1}{4} \rho (wr_1)^2 \right\}} \right\} \quad (14.38)$$

Turbina rotorynyň berkligi

Turbina rotorlary statiki we dinamiki güýçleri bilen ýüklenen. Işçi pilçeleriň her bir hatary aýlanma momentiniň döremeli netijesinde statiki güýç döreýär. Her

disk böleklerinde turbina walyna geçilýär. Momentleriň jemi muftalaryň üsti bilen generatoryň rotoryna geçýär. Aýlanma momenti walyň materialynda galtaşma naprýazeniýasyny döredýär. Rotoryň hususy agramynyň täsirinde wal бүкүлýär we onda aýlanmada birinji naprýazeniýa döreýär. Mundan başga-da ok güýçleriniň täsirinde wal materialy gysylma we бүкүлme güýçlerine sezewar bolýar. Naprýazeniýany direg podşipnikleriň ýerleşýän ýerine bagly bolup durýar. Galtaşma naprýazeniýany aşakdaky ýaly kesgitlenilýär.

$$T = \frac{M}{2W}$$

M-generatoryň muftasynyň önünde aýlanma momenti, diňe şu ýerde moment maksimal ýagdaýyna eýedir. W-walyň aýlanma garşylyk momenti. Ýagny walyň diametri onuň uzynlygyna görä üýtgeýär. Şol maksimal galtaşma naprýazeniýanyň täsir edýän ýer maksimal aýlanma momentiniň täsir edýän kesigi bilen gabatlaşman hem biler. Şonuň üçin hem galtaşma naprýazeniýasynyň hasaplamasyny howply bolan birnäçe keýlawerinde naprýazeniýasynyň hasaplamasyny howply bolan birnäçe keýlawerinde geçirmelidir. Rotorlaryň öz agramyna бүкүлmede we ok güýçleriň gysylma, süýnme naprýazeniýalaryny aşakdaky ýaly kesgitlenilýär.

$$\sigma = \frac{M_{u3r}}{W} + \frac{P}{f} \quad (14.100)$$

Bүкүji moment bahalar üçin belli bir formulalar bilen (naprýazeniýalar) hasaplanýar (birnäçe nokatlarda we hususu agramy bilen ýүкленýär) şu naprýazeniýalar uly däl. Aýlanamanyň бүкүlmäniň we süýnmäniň bilelikdäki täsiri walda galtaşma naprýazeniýany döredýär we aşakdaky formula bilen hasaplanýar.

$$\tau_B = 0,5\sqrt{\sigma + 4\tau^2} \quad (14.101)$$

Şu hasaplamanyň barlaýjy ýaly ýerine ýetirilýär ýagny waly sarsgynlylyk durgunlylygyndan üpjün etmek üçin hasaplanylýar we konstruirlenýär.

Generatoryň gysga utgaşmasynda ýa-da rezonans ýygylylaryndaky yrgyldylarda reforda dinamiki güýç döreýär. Gysga utgaşmada birden generatorda turbian rotorynda togtadyjy moment döredýär. Uly massaly walda inersiýanyň täsirinde aýlanma momentini döredýär. Ol turbinanyň we generatoryň rotorynda durýan sistemanyň aýlanýan yrgyldylaryny göz önünde tutup hasaplanylýar. Köplenç gysga utgaşmada howply naprýazeniýalar generatora golaý podşipnikleriň şýkalaynda döreýär. Olaryň bahalary wal materialynyň akyjylyk çäkleriniň 2/3 böleginden ýokary bolmaly däl.

Turbina rotorynyň sarsgynlylygy (wibrasiýa)

Turbina işlände elmydama rotoryň çalyşmagy görnüşär. Kämil tehnologiýa taýýarlananda ýokary hilli bolan tizlenende-de we montazynda sarsgynlylykdan saplanyp bolmaýar. Şonuň üçin tehniki ekspluatasiýanyň düzgünleri boýunça yrgyldynyň maksimal amplitudalary ýöriteleşdirilen priborlar bilen podşipnikleriň kryşkalarynda ýa-da rotorda ölçenilýär. Podşipnikleriň gapaklarynda yrgyldy ölçemeklik häzirki döwürde turbina ekspluatasiýasynda giňden ulanylýar ýöne şu suw rotorynyň sarsgynlyk ýagdaýyny doly we obýektiv subut etmäge mümkinçilik bermeýär. Şonuň üçin köplenç rotoryň özünde yrgyldy amplitudalary ölçenilýär. Rotor sarsgynlygynyň döremginiň sebäpleri hili pes bolan srowkada we montazda işçi pilçeleriň üzülmeginde deň ölçegsiz gyzmanan ýa-da sowamadan rotor okunyň egrelmegi bolup biler.

Käbir turbinalar ekpluatasiýa edilende kiçi ýygylykda rotor sarsgynlygy ýüze çykýar. Takmynan 2 esse işçi aýlanma ýygylykdan kiçi bolanda döreýär. Şeýle yrgyldylaryň sebäbi typmak podşipnikleriň ýag gatlaklarynda rotor awto yrgyldysynyň aerodinamiki gyjyndymasy bolup durýar. Şeýle yrgyldylaryň ýygylygy rotoryň deňagramsyzylygyna we häsiýetine bagly bolup durmaýar. Şunuň ýaly häsiýetli rotoryň jebisligi bilen baglanşykly ýokary ýygylykly sarsgynlylyk hem bolup bilýär.

Stator esasy detallarynyň berkiäge hasaplamasy.

Turbina korpusynyň berkligi

Bug turbinalarynyň korpusy çylşyrymly gapyrgaly gorizontal ok wertikal çekilýär. Flýuanslary, podtubkalary konstruksiýaşadyrylan çylşyrymly gabyk bölünip durýar. Taslamanyň başdaky stadiýalarynda naprýazeniýalary pesde golaýlaşma usullary peýdalanylýar, oňa oky simmetriki gabyk hökmünde seredilýär.

Golaýlaşdyrma usullarynyň birine seredýäris. Korpusdan halka element iki tizük bilen çäklendirilen. Korpusyň simmetriýa okuna perpendikulýar, rotoryň aýlanma oky bilen gabat gelýär. Elementi bölüp alyp, şu elementiň içinde işçi jisimiň basyşyny hemişelik edip alýarys. Alnan halkanyň deňagramlylygyna seredip korpus elementiniň diwarynyň galyňlygyny kesgitleýäris. Korpusdaky tangensial naprýazeniýa σ_t rugsat $[\sigma]$ edilýäne deň alyp diwaryň galyňlygyny kesgitlemek üçin formula alýarys.

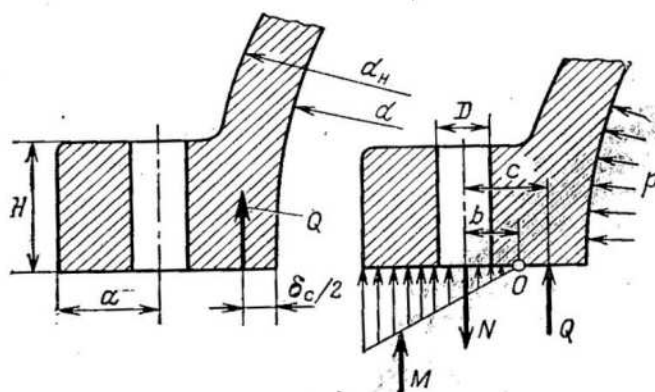
$$\delta_c = Pd(2|\sigma|) \quad (15.1)$$

P-bölünip alnan korpus elementiniň içinde artykmaç basyş, d-korpusyň içki diametri.

Galyň diwarly korpus üçin eger-de korpusyň daşky diametriniň içki diametrine bolan gatnaşygy 1,3 deň ýokary bolanda birinji (15.1) formula kiçeldilen diwar galyňlygyny berýäris. Şeýle ýagdaýlarda korpus materialynyň dartgynly ýagdaýyny göz önünde tutmak has takyk usullardan peýdalanmaly bolýar. Korpusyň dürli elementleri üçin diwar galyňlygy kesgitlenenden soňra ön tarapyň diwarynyň galyňlygyna takmynan deň edip alynýar.

Korpusyň gorizontel sökülýän flýans birikmelerinde dartgynlylyk ýagdaýy

Flýans birikmeleriniň hasaplamalarynda şol rugsat edilmeler kabul edilýär. Ýagny korpusyň galyňlygy kesgitlenendäki bahalar alynýar. Iki goňşy flýans şpilkalarynyň oklarynyň aralygy bölünip alnan elementiniň uzynlygyna deňdir. Şu korpus elementi içinde hemişelik basyş bilen dartgynlylyk ýagdaýyna eýe bolup durýar.



5.1.-nji çyzgy. Turbina korpusynyň flýanes birikmeleriniň ýüklenme shemasy.

Q-korpus gabygynyň flýanes täsir edýän güýji, M-basyş tarapyndan täsir edýän güýçler, N-şpilkalaryň berkidilme güýji.

Şpilkalaryň berkidilme güýji flýanse birikmeleriniň berklerinden üpjün etmelidir. Deňagramlylyk şertlerinde alynýar.

$$N = M + Q \quad (1)$$

Gorizontel sökülýän ýerleriniň şpilkalarynyň oklary bilen kesişýän nokatlarynda momentleriň nola deňdigini ýazmana mümkinçilik berýär.

$$Q \cdot C = M[a - (a + b/3)] = 0 \quad (3)$$

(2) we (3) deňlemeleri bilelikde işläp alýarys.

$$N = Q[1 + 3C/(2a - b)] \quad (15.4)$$

Dioframma berkligi

Dioframma birliği 2:0,5 plastika görnüşinde biri-biri bilen birikdirilen radial pilçeler ýerleşdirilen görnüşinde bolup durýar. Dioframmalara turbina işlän wagty basyş tapawutlary bilen ýüklenilýär.

$$\Delta P = P_0 - P_1$$

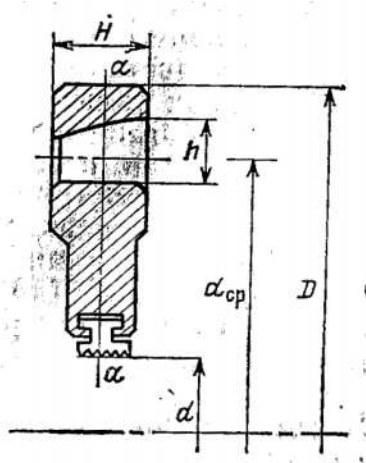
P_0 -basgançagyň öňündäki basyş.

P_1 -sopla gözeneklerinden soňky basyş.

Dioframma berkligine baa berlende getirilen formulalardan peýdalanylýar. Olar ekwiwalent naprýazeniýa we dioframmalaryň бүкүlmegine baha bermäge mümkinçilik berýär, formulalar kebşirlenen görnüşinde we guýlan görnüşinde dürli-dürlidir. Guýlan pilçeli çöýun dioframmalar üçin

$$\sigma_{ekw} = k_1 \frac{\Delta P (0,1D)^3 H}{j} \quad (15.8)$$

σ_{ekw} -dioframmada ekwiwalent naprýazeniýa, k_1 -kiçi diametriň daşky diametrine gatnaşygyna bagly koeffisiýentler, j -şertli inersiýa momenti, H -dioframmanyň galyňlygy, D -dioframmanyň daşky diametri.



5.1-nji çyzgy. Bug turbinanyň dioframmasy.

Eger-de $I_1 > I_0$ bolsa onda

$$I = 2I_1 \quad (15.10)$$

Dioframmanyň konturynda бүкүлme maksimal bahasyna deň ol бүкүlmäni pilçeleriň бүкүlmesi we dioframmanyň бүкүlmcsiniň jemi hökmünde almak mümkin.

$$\sigma_{\pi} = \sigma_T + \sigma_{\Lambda} \quad (15.11)$$

$$\sigma_T = k \frac{\Delta P (0,1D)^5 H}{EI} \quad (15.12)$$

$$\Delta \Lambda = \frac{0,2\Delta P (d_{cp} d_{cp} - d) H^3}{E_{\Lambda} I_{\Lambda} I_c} \quad (15.13)$$

K_2 d/D -gatnaşyga bagly koeffisiýent, E_{Λ} -pilçe materialynyň maýyşgaklyk radiusy, I_{Λ} -a-a oka otnositellikde pilçäniň inrsiýa momenti, Z-pilçeleriň sany, E-dioframma materialynyň maýyşgaklyk moduly.

Kebşirlenýän dioframmalar üçin şu formulalar aşakdaky görnüşde ýazylýar.

$$\sigma_{ekw} = 0,1k_3 \frac{\Delta P (0,1D)^2}{H^2} \quad (15.14)$$

$$\sigma_{\pi} = k_4 \frac{\Delta P (0,1D)^4}{EH^3} \quad (15.15)$$

Çoýun hem-de kebşirlenýän dioframmalar üçin sopl pilçelerindäki ýokary naprýazeniýa aşakdaky baglanşyk boýunça kesgitlenilýär.

$$\sigma_{\Lambda} = \frac{0,2\Delta P (d_{cp} d_{cp} - d) H}{Z_c W_k} \quad (15.16)$$

W_k a-a oka otnositellikde pilçeleriň garşylyk momenti.

Turbinanyň ygtybarly işlemegini üpjün etmek bilen (dioframmanyň rotora degmezliginiň üpjün etmezligi üçin) Dioframma bilen korpusyň aralygyndaky ok ýşyndan 1/3-den ýokary bolmaly däldir.

Turbinanyň esasy desgalarynda ulanylýan materiallar

Turbina detallarynyň işleýiş şertleriniň giň diapazony bilen bug turbinada 20-560°C aralykda 750°C we ýokary mehaniki naprýazeniýa bilen turbina uzynlygyna korroziýa emele gelmegi bilen pilçe materiallar bilen erroziýa bilen tapawutlanýar.

Turbinanyň esasy detallary dürli düzümleri polatlardan, çoýunlardan birnäçe splawlardan we reňkli metallardan ýasalýar. Turbina detallarynyň çoýundan ýasalýan materiallainyň temperaturada 250-300°C işleýär, guýma ramkaly detallar taýýarlanylýar. (çar-çoýunlar).

Çar-çoýunlar. Turbina detallardan giňden ulanylýar.

Modifisirlenen ch ulanylýar. Mehaniki häsiýeti we ulanylýan häsiýeti görkezilendir.

Tablisa. Yokary hilli guýmalaryň mehaniki häsiýetleri we ulanylyşy.

Çugunyň markasy	Berklik çägi 5MPa		Ulanylýan ýeri
	Süýnme	Bükülme	
Cч1532	150	320	Podşibnik korpusy podrubkalar, fun. Ram-ry
Cч 1836	180	360	SND -korpusy podrupka diframma
Cч 2140	210	400	SnD kor podrupka dioframma sop. Kor-ry
Cч 24-44	220	440	Dioframma pod kor-sy ýag.nas-yň.ko-sy
Cч 28-48*	280	480	Guýlan polatlary çalşyp bilýär. Turbinanayň detallaryň ýüklenen ýeri.
Cч 32-52*	320	520	

Cч 35-56*	350	560	
Cч 38-60*	380	600	

Tablisa 15.3. Yokary hilli uglerod polatlarynyň mehaniki häsiýeti we ulanylýan ýeri.

Çogunyň markasy	Te MPa	δσ MPa	δ %	Ulanylýan ýeri
Br-45-0	450	360	-	Dayanç podşibnikleriň
Br 50-15	500	380	1,5	Wkladşlary gönükdiriji
Br 60-2	600	480	2	Wtulka dykyzlandyryjy
Br 45-5	450	330	5	halka
Br 40-10	400	300	10	

Tablisa 15.4. Ýokary hilli uglerodyň guýma metallaryň mehaniki häsiýeti.

Poladyň markasy	δ , MPa	T_B MPa	5%	Ulanylýan ýeri
10	210	340	31	PBS- kebşirlenen korpuslary üçin lişler.
15	230	380	27	
20	250	420	25	
25	280	460	23	Dürli berkidilmeler
30	300	500	21	
35	320	540	20	
40	340	580	19	

Poladyň markasy	T_s MPa	T_B MPa	δ %
15 Л	200	400	24
20 Л	220	420	23
25 Л	240	450	19
30 Л	250	480	11
35 Л	280	500	15
40 Л	300	530	14
45 Л	320	559	12
50 Л	340	580	11
55 Л	350	600	10

сч-markaly çoýunlardan başga-da ýokary hilli berk beçe Br markaly çoýun hem ulanylýar. Br marka beriy bilen magniý goşulan 15.2. tablisa.

Turbinadan köp detallary uglerodly ligirlenen polatdan ýasalýar. Ýokary temperaturada , çoz turbinada nikel esasly splawlar ulanylýar 15.3. Yokary hilli uglerodly polatlar bug turbinalaryň korpusynda ramalarda berkidijiler detallarda peýdalanýar. Guýulan ýokary hilli uglerodyň polatlary guýulmalaryny 400-405°C temperaturada ýokary bolmadyk ýerlerde ulanylýar.

Tablisa 15.5. Käbir ligirlenen polatlaryň we splawlaryň esasy häsiýetnamasy.

Pola dyň mark asy	Tem pera tura °S	Akyjyl yk çägi T _s ,MPa	Berkli k çägi T _B , MPa	Otn osit el uza lma δ %	Maý yş Mod uly E*1 0 ⁻⁴	Uzak berklik çägi 100000 0	Çyz yky giň koef -ti α ·10 ⁶ 1/K	Ýyl ylyk geç- lik Wt (m·k)	Dekr eme nt yrgy ldys y %	Ulanylýan ýeri
12×1 3	20 400	410 370	610 500	22 16	22 19	- 330	10,1 11,4	25,1 28,1	2,0 1,5	Içki pilçeleri Baantož lentalary Birik simler
20×1 3	20 400	52 400	720 530	21 16	22 19	- 330	10,1 11,4	22,2 26,4	2,0 1,5	Içki pilçeler
15×1 2 BMP	20 580	750 530	890 580	15 14	22 18	- 280	9,7 11,2	24,7 26,8	1,4 0,7	Içki pilçeler dioframma lar soňky birikdirmel er birikdiriji
X15 H35 B3T	650	390 490	600 750	9- 21	15	170	16,3	23,0	0,2	Içki pilçeler diskler gaz turbinaryň rotorlary

TioP	100	520	830	27	14,7	185	14,6	29,2		
34X MA	20	430 530	620 720	17- 22	22	-	12,3	40,6	-	Wallar, diskler, klopanlary ň ştoklary
20X1 M1	20 100	570 460	740 540	19 18	22 -	- 220- 260	19,7 14,7	40,6 36,0	- -	Salnikli Rotorlar
20×3 BMP	20 500	600- 700 460- 360	700- 800 480- 580	12- 18 15- 20	21 -	- 210	10,6 12,6	35,6 29,7	- -	
34X M1A	20	480	650	14	22	-	2,3	40,6	-	Kebsirlene n rotorlar
34X H3M A	20	680- 850	830	12	21	-	10,8	37,7	-	Ýygnaýan rotorlaryň diskleri

20X MA	20 550	310- 100 260	480- 560 340	12- 28 24	21 -	- 60-65	10,9 13,7	49,0 28,1	- -	Turbinany ň korpusy stopurly
20X MPA	20 550	320- 480 220- 390	500- 6% 320- 470	14- 24 12- 21	20 17	- 100	10,0 13,6	49,0 26,4	- -	we sazlaýjy klapanlary ň
151 M1P A	20 540	350 240	550- 600 310	22 18	22 18	- 130	12,4 14,0	32,3 23,8	- -	korpuslary, sopla korapkalar y, klapanly koropkalar

Ýokary temperaturada işleýän pilçe aparatlary rotor disk we beýleki detallaryň materiallary bilen ligirlenen polatlar gulluk edýär.

Birnäçe ligirlenen polatlaryň we nikel esasy platalaryň mehaniki häsiýetleri we ulanylýan ýerleri 15.5 tablisada görkezilendir.

Turbina detallary üçin ulanylýan polatlary esasy 3 topara bölýärler.

1) 500-600°C temperaturda aişlemäge niýetlenenlerdir. Olary uglerody az we orta ligirlenen polatlar esasynda perlit klasyna degişli polatlar ýokary temperaturada bolsa mertensit klasly polatlar degişlidir, peýdaly taraplary ýeňil taplanýarlar, oňat maýyşgak we plastik häsiýeti bar. termi obrabotkanyň kömegi bilen häsiýetnamasy ýokarlanýar. Olaryň göni çyzykly giňelme koeffisiýenti kiçi we oňat ýylylyk geçirijiligi termii naprýazeniýanyň kiçeldirmegine mümkinçilik berýär we intensiw ýylylyk almaga mümkinçilik berýär. Perlit polatlara mysal edip, hormonikellimolibden 34X34MA we hromowofromolibdenowanadiý 30X30BMO. 500°C temperaturada işleýän rotor taýýarlananynda ulanylýar. Molibdeniň düzüminde 0,5; 1 b/da gyzgyna çydamly polatlara akyjylygy peseldýär. Hromuň goşulmagy himiki durnuklylygyny gaz naprýazeniýasyna garşylygyny ýokarlandyrýar, ýagny okalina stoýkost durnuklylygy ýokarydyr. Has ýokary temperaturada 550-600°C modfisirlenen, poslamaýan polat martensit klasy ýokary hrom saklaýjy (12% çenli) düzüminde niýobiýa molibden, wolfram, wanadiý ýa-da titan saklaýjy polat ulanylýar.

Morfonsit klasyna degişli polat 15X12BMO gulluk edýär.

2) Materialiara 650-700°C temperaturada berilýän geonstenit klasy degişlidir. Awestenit klasy polatlary ýokary himiki durnuklylygy we akyjylyga garşylygy bilen tapawutlanýar. Awestenit klasy polatlaryň gyzmaklyga duýujylygy pes, ýokary gyzgynlyga berkligi bar. Perlip klasyndan tapawudy kebşirlemäge ukyply. Awestenit polatlarynyň ýetmezçiligi olaryň täzeden işlemegi çylşyrymly, termo obrabotka bilen berklik gazanmak mümkin däl. Şeýle hem ýokary giňelme koeffisiýenti bar. Kiçi ýylylyk geçirijilikli, mundan başga-da özünde defisit elementleri nikel, wolfram, molibden saklaýanlygy üçin gymmat.

Ausent klasyna degişli polat hökmünde X15H35B3T aýtmak bolar. Şu hroma nikelli polat wolfram we titan bilen ligirlenen 650°C temperatura çenli işleýän pilçeler we berkidiji detallar taýýarlanylýar.

3) 650-700°C we ýokary temperaturada işleýän detallarda peýdalanýarlar. Şu topara kobalt nikel we hrom esasynda ýasalan splawlar az mukdarda demir saklaýjy giolotlar girýär. Bularyň içinde häzir nikel esasyndaky splawlar ýokary hrom saklaýjy (15-16%) görnüşiniň giňden peýdalanylýar.

Meselem, XH77TK3P şu splawlardan gaz turbinalaryň pilçeleri taýýarlanylýar, soňky ýyllarda AM3-niň bug turbinada esperimental titan splawly SND-ň ahyrky pilçeleri taýýarlananda peýdalanylýar.

$\delta_s = 710:730 \text{ MPa}$ - akyjylyk çägi.

$\delta_B = 780:860 \text{ MPa}$ - berkük çägi.

$\delta = 12:14\%$ - süýnme çägi.

Şu otnositel ýeňil splawlar ahyrky başgançaklaryň işçi pilçeleriniň uzynlygy ýokarlandyrmaga başgaça aýdylanda turbinanyň predel kuwwatyny ýokarlandyrmaga mümkinçilik berýär.

EDEBIÝAÝLAR:

1. Türkmenistanyň Konstitusiyasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow . Ösüşiniň täze beletliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat , 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow . Ösüşiniň täze beletliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat , 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow . Garaşsyzlyga guwanmak. Watany, Halky söýmek bagtdyr . Aşgabat , 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow . Türkmenistan – agdynlygyň we ruhybeletligiň ýurdy. Aşgabat , 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministirler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi .(2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň “Obalaryň ,şäherleriň etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin ” Milli maksatnamasy . Aşgabat, 2007.
8. “Türkmenistany ykdysady ,syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry ” Milli maksatnamasy .”Türkmenistan “ gazeti , 2003 –nji ýylyň ,27-nji awgusty.
9. “Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy ” .Aşgabat ,2006.
10. А.Г.Костюк, В.В.Фролов. Паровые и газовые турбины, 1985. Москва Энергоатомиздат
11. Абрамов В.И., Филипов Г.А., Фролов В.В. Тепловой расчет трубн. Машиностроение, 1974г
12. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика. Машиностроение, 1980г
13. Самойлович Г.С. Троянский Б.М. Переменные и переходные режимы работы в паровых турбинах. Москва. Энергия 1982г
14. Костюк А.Г. Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. Москва. Высшая школа. 1979г

MAZMUNY

Sözbaşy.....	1
GIRIŞ.....	3
Bug turbina gurluşynyň ösüşi barada gysgaça maglumat.....	3
Turbinaly gurallaryň ýylylyk aýlawi.....	5
Ýylylygy we elektrik energiýasyny kombinirlenen görnüşde öndürilişi.....	10
Buguň aralykda aşa gyzdyrylyşy.....	13
Iýmitlendiriji suwuňregeneratiw gyzdyrylyşy.....	15
Buguň parametrleriniň ideal aýlawiň PTK-syna täsiri.....	20
Turbina klaslary.....	23
Turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgeýşi Gysylýan suwuklygyň akymy üçin esasy deňlemeler.....	25
Kanallarda akymyň esasy häsiýetleri we parametrleri.....	29
Bir wenaly turbina basgançaklarynda energiýanyň üýtgemegi.....	34
Işçi pilçelere täsir edýän güýç.....	38
Basgançagyň kuwwaty. Udel işi.....	39
Basgançagyň oňnositel pilçe PTK-sy.....	41
Iki wenaly basgançak.....	46
Radial we radial okly basgançaklar.....	51
Turbina basgançakdaky gözenekleriň geometriki we gazodinamiki häsiýetleri.....	54
Bir wenaly, iki wenaly basgançak üçin sopl we işçi gözenekleriniň ölçegleriniň kesgitlenilişi Bir wenaly basgançaklaryň gözenek ölçeginiň kesgitlenişiniň aýratynlyklary.....	58
Konus görnüşli bandazly işçi pilçe Bei wenaly basgançagyň gözenek ölçegleriniň kesgitlenişiniň aýratynlygy.....	61
Basgançagyň oňnositel içki PTK-sy goşmaçaýitgiler.....	62

Bölekleyin buguň berilmegi bilen baglanyşykly ýitgi.....	64
Turbijna basgançagynda goşmaça ýitgileri göz öňüne tutmak	
bilen h-s diagrammada buguň giňelme prosessi.....	67
Köp basgançakly bug turbinasy	
Köp basgançakly bug turbinasyndaky ýylylyk prosessi.....	68
Ýylylygy gaýdyp almak koeffisienti.....	72
Bug turbasynyň errozion iýilmesi.....	75
Birikdirme (dykyzlandyrma) konstruksiýasy.....	77
Ýag üpjünçilik shemasy we sistema.....	80
Bug turbinalaryň sazlanlyşy.....	82
Serwomotorly sazlanşy.....	84
Bug turbinalarynyň kondensasion gurallaryň prinsipial shemasy.	
Kondensatoryň gurluşy.....	89
Kondensatordaky ýylylyk prosessi.....	90
Üýtgeýän rezimde turbinanyň işleýşi.....	92
Üýtgeýän rezimde basgançagyň işi.....	93
Üýtgeýän bug berilmede we dürli buguň ýaýradylmasynda	
turbunadaky ýylylyk prosessi.....	98
Baýpasly (aýlap) bug geçirmek.....	99
Typýan basyş usuly bilen turbina kuwwatlylygynyň sazlanlyşy.....	102
Buguň başdaky parametrleriniň we a. a. gyzdyrylmanyň	
temperaturasynyň bozulmagynyň turbina kuwwatlylygyndaky täsiri.....	102
Buguň ahyrky basyşynyň turina kuwwatyna täsiri.....	106
Ýylylyk we elektrik energiýany kombinirlenen görnüşde öndürýän turbinalar	
Garşy basyşly turbinalar.....	109
Aralykda buggy sazlanyp alynýan turbinalar.....	110
Buggy sazlanyp alynýan garşy basyşly turbina.....	111
Iki ýerinden bug sazlanyp alynýan turbinalar.....	112
Iki ýerinden ýyladyşa bug saýlanyp alynýan turbinalar.....	113
Teplofikasiýa turbinalarynyň kondensatorda oturdylan	

turbalar bogdagyny ulanmaklyk.....	115
Turbinanyň işleýşiniň ygtybarlylyk kriteriýasy.....	123
Bug turbinanyň işe goýberilişi.....	125
Turbinanyň sowuk ýagdaýda işe goýberilişi.....	126
Turbinanyň gyzgyn ýagdaýda işe goýberilişi.....	128
Turbinanyň kömekçi enjamlarynyň işe goýberiliş tertibi.....	130
Turbinanyň sazlanlyşy.....	131
Turbinanyň awtomatiki goragy.....	132
Rotoryň esasy detallarynyň berkiige hasaplamasy. Turbina elementleriniň deformasiýasy we naprýazeniýe usullary.....	133
Aýlanýan diskde naprýazeniýa we deformasiýa. Diskleriň ýüklenmesi.....	134
Hemişelik galyňlykda diskde ýuka halkada barabanda naprýazeniýa.....	139
Merkezi ýşly diskde naprýazeniýanyň ýaýraýşy.....	141
Tekiz diskde naprýazeniýanyň ýaýramagy.....	141
Ýukahalka.....	141
Üýtgeýän profiili diskde naprýazeniýa hasaplamasy.....	143
Aýlanma ýgylykda boşadyjynyň we dartgynyň kesgitlemesi.....	144
Turbina rotorynyň berkligi.....	147
Turbina rotorynyň sarsgynlygy (wibrasiýa).....	148
Stator esasy detallarynyň berkiige hasaplamasy. Turbina korpusynyň berkligi.....	149
Korpusyň gorizontaý söküýän flýans birikmelerinde dartgynlylyk ýagdaýy.....	150
Diofragramma berkligi.....	152
Peýdalanylan edebiýatlar.....	158

