

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті

Қ.Т. Төлеуов, С.Ә. Әбдікәрімов

ГАЗ ТУРБИНАЛЫ ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАР

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі оқу құралы
ретінде ұсынған

Алматы 2013

ЖОК 622.32:(075.8)

ББК 33.36.Я 73

Т, 65

Қ.Т. Төлеуов, С.Ә. Әбдікәрімов. Газ турбиналы газ айдағыш агрегаттар. Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2013. –132 бет.

Сурет – 31. Кесте – 8. Библиографиялық тізім – 21 атау.

ISBN 978-601-228-530-7

Оқу құралында компрессорлық станциялардың (КС) табиғи газды сығу үшін пайдаланатын газ турбиналы ортадан тепкіш айдағыштарға байланысты мәселелер қарастырылған. Газ турбиналы газ айдағыш агрегаттарды пайдаланатын компрессорлық станцияларға жеке нысан есебінде сипаттама берілген. Сондай-ақ, әртүрлі таңғыштардағы газ айдағыш агрегаттардың (ГАА) қосылуындағы компрессорлық станциялардың технологиялық сұлбалары; газ турбиналы қозғалтқыштардың және газ айдағыш агрегаттардың түрлері; газ құбыры мен газ турбиналарының және газ айдағыштардың арасындағы өзара байланыстары қарастырылған. Газ айдағыш агрегат құрылымдарының ерекшеліктері және олардың сипаттамалары келтірілген.

Газ айдағыш агрегаттарды пайдалану процесінде оның техникалық күйін және қуатын анықтаудың әдістері мазмұндалған. Компрессорлық станциялардағы газ айдағыш агрегаттарды пайдаланудағы сенімділік және тиімді көрсеткіштерге, қоршаған ортаны қорғауға және техникалық қауіпсіздікке назар аударылған.

Бұл кітап оқу құралы ретінде – мұнай-газ мамандықтары бойынша оқитын жоғары оқу орындарының студенттеріне арналған.

Сонымен қатар, оны басқа жоғары оқу орындарындағы мұнай-газ кәсіпшілігіндегі машиналар мен жабдықтарды оқитын студенттерге де пайдалануға болады.

Пікір жазғандар:

Б.К. Құмар – «Газ-мұнай құбырлары мен қоймаларын жобалау, салу және пайдалану» кафедрасының меңгерушісі, техн., ғыл., докт., доцент, ҚазҰТУ;

Р.А. Мұсабеков – Алматы энергетика және байланыс университетінің «Өнеркәсіптік жылу энергетикасы» кафедрасының меңгерушісі, техн., ғыл., канд., доцент;

Н.А. Умбеталиев – «Көлік техникасы және аграрлық өндірістердің сервисі» кафедрасының меңгерушісі, техн.ғыл. докт., профессор, ҚазҰАУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2013 жылғы жоспары бойынша басылды.

ISBN 978-601-228-530-7

© Төлеуов Қ.Т., Әбдікәрімов С.Ә.

© ҚазҰТУ, 2013.

КІРІСПЕ

Біздің елімізде табиғи газды газ құбырлары арқылы тасымалдау өте жоғары қарқынмен дамуда. Жыл сайын магистральдық газ құбырларының компрессорлық станцияларының аралық қашықтықтары бірнеше мың километрге көбеюде, соған орай көптеген жаңа компрессорлық станциялар салынуда. Компрессорлық станциялардағы (КС) газ турбины газ айдағыш агрегаттар (ортадан тепкіш айдағыштар (ОТА) станциялардың маңызды және күрделі жабдықтары болып есептеледі. Қазіргі кезде газ құбырларындағы орнатылған барлық қуаттың 80 %-ті газ турбины газ айдағыш агрегаттар құрайды. Компрессорлық станцияларда 5...10 және одан да көп газ айдағыш агрегаттар орнатылады, олар күрделі параллельді немесе тізбектілі түрде қосылған сұлбалар бойынша жұмыс жасайды. Табиғи газды құбырлар арқылы тасымалдаудың ерекшеліктері, онда үлкен диаметрлі құбырлардан тұратын газ құбырларын салу. Келешекте газ құбырларында диаметрі 1400 мм және одан да артатын құбырларды қолдану жоспарлануда.

Қазіргі кезде магистральдық газ құбырлары 7,5 МПа қысымда газ өткізу қабілеті 15-25млрд/жыл, диаметрі 1200 және 1400 мм-лік құбырлар пайдалануда. Осыған орай келешекте компрессорлық станцияларда жоғары қысымды, газ берілісі және ПӘК-тері жоғары газ айдағыштарды жасауға және оларды пайдалануға тура келеді. Әртүрлі талаптарға сәйкес пайдаланатын негізгі газ агрегаттар; поршеньді газ мотор компрессоры, газ турбины және электр қозғалтқышты жетектері бар ортадан тепкіш газ айдағыштар.

Қазіргі магистральдық газ құбырларындағы қолданылатын газ айдағыш агрегаттарын жетектеуші (іске қосушы) газ турбины қондырғылардың негізгі қуаттылықтары 6300, 10000, 16000 және 25000 кВт. Сонымен бірге, газ айдағыш агрегаттардың келешекте дамуына байланысты жаңа газ турбины газ айдағыш агрегаттар жобалануда. Қазақстан үшін

күрделі проблеманың бірі –табиғи газдың тапшылығы болып табылады. Қазіргі уақытта республикада жылына 40,5 млрд.м³ газ өндіріліп, оның 26 млрд.м³ тауарлы газ болса, болжам бойынша бұл көрсеткіш 2020 жылы 92,2 млрд.м³-қа жеткізіліп, тауарлық газ өнімі 28,6 млрд.м³-ты құрайды деп жоспарлауда.

Сондай-ақ қазіргі кездері, газ турбиналы қондырғылар мен газ айдағыш агрегаттар туралы қазақ тілінде жазылып шығарылған оқулық немесе оқу құралдарының тапшылығына байланысты, осы ұсынылып отырған оқу құралының маңызы өте зор. Бұл оқу құралының негізі 5B072400 – «Мұнай және газ кәсіпшілігінің технологиялық машиналары мен жабдықтары» және 5B072900 – «Газ-мұнай құбырлары мен қоймаларын жобалау, салу және пайдалану» мамандықтарының оқу бағдарламасына сәйкес құрастырылған.

1. КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРДАҒЫ (КС) ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫҢ (ГАА) ЖҰМЫС ТӘРТІПТЕРІ ЖӘНЕ КӨРСЕТКІШТЕРІ

1.1. Газ айдағыш агрегаттар пәні

1.1.1. Газ айдағыштарды мұнай және газ кәсіпшілігінде пайдалану

Қазақстан Республикасында мұнайды және табиғи газды тасымалдау өте жоғары қарқынмен дамуда. Жыл сайын магистральдық газ құбырларының аралық қашықтықтары көптеген мың километрге көбеюде, сондай-ақ ондаған жаңа компрессорлы станциялар салынуда. Компрессорлы станциялардағы газ турбиналы газ айдағыш агрегаттар ортадан тепкіш газ айдағыштар (ОТГА) – станциялардың маңызды және күрделі жабдықтары болып келеді. Қазіргі кезде компрессорлы станциялардың 85%-дан көбірегі әртүрлі типтегі және қуаттылықтардағы газ турбиналы қондырғылар (ГТҚ) арқылы жетектелетін ортадан тепкіш газ айдағыштардан тұрады. Магистральды газ құбырларының негізгі жүйелеріне және түзілімдеріне кіретіндер: магистральды газ құбырының тізбектілік бөлімі; Компрессорлы станцияның технологиялық сұлбалары, құрамында газ айдағыш агрегаттар немесе табиғи газды ортадан тепкіш айдағыштар (ОТА); газ айдағыш агрегаттардың энергожетектері (Газ турбиналы қондырғылар, электрқозғалтқыштар, поршеньді іштен жанатын қозғалтқыштар); мұнаймен, сумен және электрмен қамтамасыздандыру жүйелері; арматуралар және құбырлар. Табиғи газды бастапқы қабаттық жаратылыстық қысыммен алыс шақырымдарға құбыр арқылы керекті мөлшерде тасымалдауға болмайды, себебі алыс қашықтықта құбыр арқылы өтетін газдың қысымы төмендейді, соған орай олар компрессорлы станциялардың құрлысы және пайдалану жүйесімен толық байланысты. Әдетте магистральдық газ құбырларының компрессорлы станциялары 100... 150 шақырым аралықта орнатылады. Бұл компрессорлы станциялардың технологиялық тізбегінде типтік таңғыштары болады және әртүрлі

қуаттылықтағы газ айдағыш агрегаттармен жабдықталады, тасымалданатын газдың шығынына компрессорлы станциялардағы қысымдық құламаларға сәйкес.

Магистральды газ құбырларының компрессорлы станциялары максимальдық тасымалданатын газдың қысымына сәйкес үш топқа бөлінеді.

I – төменгі қысымды – 1,5 МПа дейін; II – орташа қысымды – 1,5 МПа-дан 3,0 МПа-ға дейін; жоғары қысымды – 3,0 МПа-дан 7,5 МПа-ға дейін. Компрессор станцияларының негізгі жабдықтары болып ортадан тепкіш айдағыштар, яғни газ айдағыш агрегаттар. Әдетте, компрессор станцияларында 5...10 дана одан да көп газ айдағыштар орнатылады, олар күрделі параллельді және тізбектілі сұлбалар бойынша жұмыс жасайды және де газ берілісі магистральды газ құбырлары бойынша реттеліп өзгертін болады.

1.1.2. Газ айдағыштар үшін энергожетектеушілерді таңдау

Газ турбиналы қондырғылар және ортадан тепкіш сорапты газ айдағыштар негізінен табиғи газды магистральды газ құбырларымен тасымалдауға арналған. Компрессорлық станцияларда механикалық энергия және электрэнергиялары өндіріледі, газ турбиналы қондырғыларда жылу регенерацияланады және қайта пайдаланады, тасымалданатын газ ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттарда (ОТГА) сығылады, жылу алмастырушы аппараттарда тасымалданатын газ салқындатылады.

Компрессорлық станциялардағы магистральдық газ құбырларындағы газды сығу үшін төмендегідей электрліжетектеушілер қолданылады:

- Газ мотокомпрессорлар, газбен жұмыс жасайтын поршеньді іштен жанатын қозғалтқышты поршеньді компрессорлар;
- электржетектілі ортадан тепкіш компрессорлар;
- стационарлық газ турбиналы қондырғылы (ГТҚ) ортадан тепкіш компрессорлар;

- авиациялық газ турбиналы ортадан тепкіш компрессорлар;

- бугаздық негізіндегі циклде жасалған газ айдағыштар;
- газ турбиналы жетектілі поршеньді компрессорлар.

Магистральды газ құбырларында газ турбиналы қондырғылар кеңінен қолданылады. Олардың үлесі 75%-ды, қуаттылығы бойынша – 8 %-ды құрайды. Газ турбиналы жетекті компрессорлы станциялардың энергожетегінің негізгі түрі және қуат бойынша (%) пайыз түрінде төмендегідей бөлінеді: стационарлы газ турбиналы қондырғылар –70 %; авиациялық газ турбиналы қондырғылар түрі – 24%; судолық газ турбиналы қондырғылар – 6%.

Компрессор станцияларындағы газ айдағыш агрегаттарды жетек түрлері негізінен газ құбырының өткізу қабілеттілігімен анықталады. Жалпы компрессорлық станциялардағы және газ кәсіпшілігіндегі пайдаланатын газ турбиналы қондырғылардың қуаты НГТҚ төмендегідей негізгі параметрлерімен анықталады:

$$N_{ГТҚ} = f (P_{газ}, D_{газ} \text{ құб.}, E_{КС} = \frac{P_{шығ.}}{P_{кір}}, Q_{г}, h_{бұр}, t_{орт}),$$

мұндағы $P_{газ}$, – газ қысымы, $D_{газ}$ құб – газ құбырының диаметрі, $E_{КС} = \frac{P_{шығ.}}{P_{кір}}$ – газды сығу дәрежесі;

$Q_{г} = G_{г}/\rho_{г}$ – газ айдағыштың көлемдік өнімділігі, м³/ мин; $h_{бұр}$ – бұрғылау тереңдігі м, $G_{г}$ – айдағыштың массалық өнімділігі, кг/мин, $t_{орт}$ – сыртқы қоршаған ортаның температурасы.

Әдетте газ өткізу қабілеттілігі көп емес газ құбырлары үшін ($Q_{г} < 20 \dots 30$ млн.м³/тәулік) газмотокомпрессорларды қолдану тиімділі, ал газ өткізу қабілеттілігі ($Q_{г} > 20 \dots 30$ млн., м³/тәулік) газ құбырлар үшін газ турбиналы немесе электрқозғалтқышты жетектілі ортадан тепкіш газ айдағыштар өте – айрықша тиімді болады.

Қазіргі уақыттары компрессор станцияларындағы газды теңестіру үшін қолданылатын газ айдағыш агрегаттар түріне қарай негізінен үш топқа бөлінеді: газ турбиналы қондырғылы (ГТҚ), электржетекті газ айдағыш агрегаттар (ЭГАА) және газ моторлы компрессорлық қондырғылар (ГМК).

Бірінші топқа газ турбиналы жетекті ортадан тепкіш газ айдағыштар жатады, екінші топқа электрқозғалтқышты жетекті айдағыштар және үшінші топқа поршеньді іштен жану қозғалтқышты жетекті газ айдағыштар жатады.

Бірінші топ агрегаттарына – стационарлы, авиациялы және судолық газ турбиналы қондырғылар жатады және олар компрессор станцияларындағы негізгі жетек түрлері болып табылады.

Газ айдағыш агрегаттарының энергетикалық жетектерінің осы үш түрінің өздеріне тән жетістіктері мен кемшіліктері бар, олар төмендегіше:

Газ турбинді жетектердің жетістіктері:

- Дербестік, отын ретінде айналатын табиғи газды пайдалану;

- Жұмыс барысында бірқатар (едәуір) қуаттылықты бір агрегатқа шоғырландырады;

- Салыстырмалы түрде кішігірім өлшемдерге ие;

- Тиімділігі жоғары (егер табиғи газ бағасы төмен болғанда):

Газ турбиндерді жетектердің кемшіліктері:

- уақыттың өтуіне байланысты ПӘК-тің 10...20 %-ға төмендеуі (0,20 ... 0,25). Мысалы ГТУ–10-ның номинал қуаттылығы 10000 кВт, 80 ... 90 мың сағат жұмыстан кейін оның қуаттылығы 8000 ... 9000 кВт-қа төмендейді.

Электрқозғалтқышты жетектердің жетістіктеріне төмендегілер жатады:

- Пайдалану және қызмет көрсету өте қарапайым;

- Жөндеу аралық жұмыс қоры (ресурсы) 150 мың сағат;

- Қоршаған ортаның экологиясына аз әсер етуі;

Электрқозғалтқышты жетекті газ айдағыштардың кемшіліктеріне:

Компрессор станцияларында арзан электр энергиясы қажет ауысымдық айналатын газ көлемінің өзгеруіне байланысты тұрақсыз жұмыс істеуі;

Поршеньді газ айдағыш агрегаттардың артықшылықтары;

- Пайдалы әсер коэффициент (ПӘК) 35...36 % салыстырмалы түрде жоғары;

- Газды сығымдау жоғары дәрежеде өтеді;

Поршеньді газ айдағыш агрегаттардың кемшіліктеріне:

- Агрегаттардың қуаттылығының аздығы, үлкен метал-сыйымдылық, жөндеу аралық қордың төмендігі шамамен 5 ... 6 мың сағат.

Поршеньді газмотокомпрессорларды (ГМК) келешекте тиімді қолданылатын жерлеріне жататындар компрессор станцияларындағы газды жерастына сақтауда және төменгі температуралы операцияларды жүргізуде қолданылады.

Магистральды газ құбырларының компрессор станциялары үшін әртүрлі қуаттылықтардағы (кВт) жетектілі газ айдағыштар қолданылады: 4000, 6000, 10000, 12000, 15000, 16000, 25000 кВт.

Газ айдағыш агрегаттардың қуаттылығы (N_{ГТК}) алдында көрсетілген көрсеткіштермен қатар мынадай қысымдарға және құбыр диаметрлеріне де байланысты. Диаметрлері $D_{\text{газ.күб}}=720...1000$ мм газ құбырлары үшін, компрессор станциялардан шығатын газдың жұмыстық қысымы $P_{\text{шығ}}=7,5$ МПа-да қуаттылығы 6...10 мың кВт-қа ие агрегаттар қолданылады; Диаметрлері $D_{\text{газ.күб}}=1420$ мм газ құбырлары үшін жұмыстық қысымы $P_{\text{шығ}}=7,5$ МПа-да, қуаттылығы 16...25 мың кВт газ турбины агрегаттар қолданылады. Қазіргі замандағы газ құбырларын жобалағанда және пайдаланғанда компрессор станциясы бойынша газ қысымының сығылу дәрежесі $\epsilon_{\text{к}}=1,3...1,6$ шамасында қабылданады.

Осы энергожетектердің жетістіктерін ескере отырып, компрессор станциялар жұмысының ПЭК-нің тиімділігін және сенімділігін арттыру мақсатында оларды газ турбины және электржетекті газ айдағыштармен жабдықтайды. Стационарлы газ турбины қондырғыларды және газ құбырларында арнайы қолданылатын қондырғыларды келесідей зауыттар шығарады:

Орал турбомотор зауыты (УЗТМ), Екатеринбург қаласы

ГТ-6-750 с ЦБН Н-300-1,23, КПД=24%, N_{ГТУ}=6 МВт;

ГТН-6 с ЦБН Н-300-1,23, КПД=24%, N_{ГТУ}=6,3 МВт;

ГТК-16 с ЦБН Н-800-1,25, КПД=25%, N_{ГТУ}=16 МВт;

ГТН-25-1 с ЦБН Н-25-76-1,35, КПД=31%, N_{ГТУ}=25 МВт.

Ленин атындағы Нева зауыты (НЗЛ) Санкт-Петербург қаласы

ГТК-5 с ЦБН 26-12-1, КПД=26%, $N_{гту}=4,4$ МВт;
ГТ-700-5 с ЦБН 280-12-4, КПД=24%, $N_{гту}=4,2$ МВт;
ГТ-750-6 с ЦБН 370-14-1, КПД=27%, $N_{гту}=6$ МВт;
ГТ-750-6 с ЦБН 370-17-1, КПД=27%, $N_{гту}=6$ МВт;
ГТК-10-2 с ЦБН 520-12-1, КПД=28%, $N_{гту}=10$ МВт;
ГТК-10-4 с ЦБН 370-18-1, КПД=29%, $N_{гту}=10$ МВт;
ГТНР-10 с ЦБН 520-12-1, КПД=28%, $N_{гту}=10$ МВт;
ГТК-16 с ЦБН Н-800-1,25, КПД=25%, $N_{гту}=16$ МВт;
ГТН-25 с ЦБН 650-21-2, КПД=28%, $N_{гту}=25$ МВт.

Қазіргі уақыттары газ құбырларында фрунзе атындағы Самара мотор құрылыс бірлестігі шығаратын қозғалтқыштар пайдаланылады. Агрегаттарды Сумск машина құрылыс ғылыми өндірістік бірлестігінде жасап шығарады. (Сумск қаласы, Украина). Осы бірлестіктерден шығарылатын агрегаттарға мыналар жатады;

НК – 12 СТ қозғалтқышы бар газ айдағышты агрегаттар Н-196–1,45, НЦВ-6,3/56-1,45 ГПА-Ц-6,3; НК12–СТ қозғалтқышы бар газ айдағыштар НЦВ-6,3/76-1,45 және ГПА-Ц-6,3/76, НК1–2СТ қозғалтқышты айдағышы бар НЦВ-6,3/125-2,2 және мынадай газ айдағыш қондырғылар ГПА-Ц-6,3/125-2,2 шығарылады, осы көрсетілген агрегаттардың ПӘК-тері 24%-ға тең.

Сумск машинажасау өндіріс бірлестігі (МӨБ), фрунзе атындағы Қазан мотор құрылыс бірлестігі шығаратын қозғалтқыштар негізіндегі газ айдағыш агрегаттарды шығарады. Мұндай агрегаттарға НК-16СТ қозғалтқышы және Ц-16/56–1,44, Ц-16/176 –1,45 маркалы айдағыштары бар ГПА-К-16 агрегаттар жатады, олардың ПӘК-ті 27%-ға, қуаты 16 МВт-қа, айдағыштың сығымдау дәрежесі 1,45-ке тең.

Судолық газ турбиналы агрегаттарға жетегі модернизацияланған (жаңартылған) газ турбиналы газ айдағыш агрегаттар жатады. Мұндай қондырғыларға Николаев судоқұрылыс зауыты (Украина) шығаратын газ турбиналары жатады:

ДР-59 қозғалтқышы және Н-370-18-1 айдағышы бар ГПУ-10 «Волна», қондырғысының ПӘК-ті 26,5%- ды құрайды.

Кейінгі уақыттары Николаев судокұрылыс зауыты ДГ-90 қозғалтқышы бар жаңа газ айдағыш агрегаттарды шығара бастады, олардың ПӘК-ті 34% -ды құрайды.

Дженерал Электрик фирмасы (АҚШ)

Бұл фирма газ айдағыш агрегаттар үшін газ турбиналы қондырғыларды дүниежүзі бойынша әртүрлі зауыттарда шығарады. Оларға АЕГ-Канис (Германия), Ново-Пиньоне (Италия), Джон Браун (Великобритания), Мицубиси (Япония). Бұл фирмалардың қондырғыларына ГТК-10Н (MS-3000) Купер-Бисемер (АҚШ) фирмасының айдағышы бар Ново-Пиньоне (Италия), Интерсол Рэнд (Великобритания), қондырғыларының ПӘК-ті 25,7%-ды, қуаттылығы $N_e = 10,3$ МВт-ты құрайды.

Газ құбырларындағы компрессор станцияларында қолданылатын басқа да агрегаттарға ГТК-25И (MS-5000) РС-804-2 айдағыштарын Ново-Пиньоне фирмасы шығарады (Италия), ПӘК-ті 27,5%, қуаттылығы $N_e = 25$ МВт. Бірінші Бриенск зауыты (Чехия) Брно қаласында орналасқан.

Ортадан тепкіш айдағышты ЦБН370-14-1, 370-17-1м Аврора агрегатының қуаты $N_e = 6$ МВт, ПӘК-і 28%-ға және ЦБН-370-14-1 айдағышы бар Дон-1,2,3 агрегаттарының қуаты $N_e = 5...6,5$ МВт-қа, ПӘК-ті 30 %-ға тең. Компрессор станциялардағы авиажетекті агрегаттарға Эивон 1534–1016 қозғалтқышты «Кобера–182» типтегі «Ролл-Ройс» (Ұлыбритания) фирмасы шығаратын қондырғы және Н288-30 айдағышы бар қондырғылар қолданылады.

Зерттелген әдебиеттердегі [10] мәліметтерге қарағанда «Газпром» Ашық Акционерлік Қоғам жүйесіндегі газ айдағыш агрегаттар паркінің құрамы төмендегіше: Газ турбиналы жетектер 85,5 %, электржетектілер 13,5 %, поршеньді жетектер 1,0 % -ды құрайды. Осы мәліметтік дәлелдерге қарағанда газ құбырларында ең көп қолданылатын газ турбиналы жетектер. Қазіргі заманғы диаметрі 1420 мм газ құбырлы компрессорлық станцияларында қуаттылығы 16 және 25 МВт-тық газ айдағыш агрегаттар қолданылады.

Қазіргі кездері газ турбиналарын жасап шығарушы зауыттар қуаттылықтары 6....25 МВт-тық, ПӘК-ті 31...35%-дық жаңа түрлерін шығаруды игеруде. Поршеньді газ айдағыш

агрегаттарының көрсеткіштері (газмотокомпрессорлар) төмендегіше: КУПЕР газ айдағышының ПӘК-ті 29%, қуаттылығы 736 кВт; 10ГК- газ айдағышының пәк-ті 32%, қуаттылығы 736 кВт; МК-8-дің пәк-ті 36%, қуаттылығы 2060 кВт, ДР-12-нің, пәк-ті 36,5%, қуаты 5500 кВт; МК-8М-нің қуаты 2200 кВт, пәк-ті 36%.

1.1.3. Табиғи газды құбырмен тасымалдаудың қазіргі жағдайы және негізгі ерекшеліктері

Көптеген елдерде табиғи газды өндіру және пайдалану өте жылдам қарқынмен өсуде. Табиғи газды пайдалануда тасымалдаудың негізгі түрі – құбырлар арқылы тасымалдау. Сондықтан, табиғи газды басқа тасымалдаулармен салыстырғанда, мысалы табиғи газды теңіз немесе темір жолдарымен тасымалдауды салыстырғанда құбыр арқылы тасымалдау өте тиімді келеді. Табиғи газды құбыр жолымен тасымалдаудың даму ерекшеліктері, ол үлкен диаметрлі құбырларды пайдаланып, газ құбырларын салу.

Келешекте газ тасымалдауда диаметрі 1400 мм-лік құбырлар өте көп қолданылады. Соңғы жылдары табиғи газды сұйықтандырушы, сақтау және регазификациялау үшін қондырғылар салуда. Бірақ сұйытылған газдың бағасы салыстырмалы түрде жоғарылауда, оны көлемді тасымалдауға кейбір шектеулер қойылады. Бірақ, табиғи газды құбырлар арқылы тасымалдау алдағы уақыттарда негізгі түрі болып есептеледі.

Газ айдағыш агрегаттардың негізгі даму бағыты – сенімділікті және экономиканы жоғарылату, күтімділіктің автоматизациялау деңгейін жақсарту және оларды жетілдіру. Сондай-ақ газ айдағыш агрегаттардың энергожетектеушілерінің аралық жөндеу және жалпы жұмыс істеу қорын арттыру. Жалпы газ айдағыш агрегаттарды және олардың жетектеушілерінің жұмыс істеу мерзімін жобалағанда кемінде – 100 мың сағатқа дейін тоқтаусыз жұмыс істеуге есептейді. Сондай-ақ газ турбиналы газ айдағыш агрегаттардың жөндеу жарамдылығын көбейту қарастырылған. Компрессорлы станциялардың магистральды газ құбырларының аралық қашықтықтарының өсуіне байланысты, олардың диаметрлері,

алыс қашықтыққа берілетін газдың көлемі, газ айдағыш агрегаттардың саны және компрессорлы станциялардың қуаттары үздіксіз өсуде, оған орай техникалық күйін және сенімділікті, экономиканы жақсартуға компрессорлы станциялардағы орнатылған газ айдағыш агрегаттарға жоғары техникалық талаптар қойылады.

Үлкен өнімділікті газ құбырларының компрессорлы станцияларындағы айдалатын тиімділік газдың сығылу дәрежесі

$E_{КС} = \frac{P_{шығ}}{P_{кір}}$ салыстырмалы түрде онша көп емес және

$E_{КС} = 1,4 \dots 1,5$ тең болады. Сонымен қатар, үлкен компрессорлы станцияларға магистральды газ құбырлары арқылы кірердегі газдың көлемдік шығыны $1000 \dots 2000 \text{ м}^3/\text{мин}$ құрайды. Осындай үлкен көлемдік шығындағы шартта және газдың газ айдағыш агрегаттарындағы салыстырмалы сығылу дәрежесінде аздау болса да $E_{КС}$ әртүрлі типті жетектелуші ортадан тепкіш айдағыштардың техника-экономикалық артықшылықтары болады. Сондықтан, магистральды газ құбырларының басты даму бағыты, ортадан тепкіш агрегатты газ айдағыш агрегаттарын жасау және оларды ары қарай жетілдіру болып табылады. Қазіргі магистральды газ құбырларының компрессорлы станцияларында газ айдағыш агрегаттарды жетектеуші қозғалтқыштардың, нормалық қатарлы қуаттылықтардағы газ турбиналы жетектеушілер жасалған: 4000, 6300, 10000, 15000, 16000 және 25000 кВт.

Табиғи газды тасымалдаудағы ортадан тепкіш компрессорларға қойылатын айрықша маңызды талаптар, олардың сенімділігі және жоғары тиімділігі, әсіресе әртүрлі пайдалану жағдайларындағы. Ортадан тепкіш агрегаттардың сенімділігі, ол бірінші кезекте біліктердің құрылымының, жұмысшы доңғалақтардың, тіректілік және таяныштық мойынтіректер мен тығыздаушы жүйелердің жетілдірілуімен анықталады.

Ортадан тепкіш агрегаттарды пайдаланудағы ең негізгі талап, компрессорлы станциялардағыға агрегаттардың жұмыс істеу шартына сәйкес айдағыштардың сипаттамасының мүмкіндік өзгеру бағытын қамтамасыздандыру. Ортадан тепкіш агрегаттардың жұмыс режимінің өзгеру ауқымы, ол

компрессорлы станциялардағы агрегаттардың жұмыс істеу жағдайына сәйкес, айдағыштың сипаттамасының өзгеру бағытын қамтамасыздандыру.

Ортадан тепкіш агрегаттардың жұмыс режимі ауқымының өнімділік және арындығы бойынша өзгеруін жұмысшы доңғалақтарды алмастыру арқылы, ал салыстырмалы аздау өзгергенде – кірердегі ауыстырмалы (бұрылмалы) бағыттаушы қалақшаларды қондыру арқылы жасалады.

Ортадан тепкіш агрегаттар компрессорлы жылу машиналарына жатады, онда қозғалтқыштың механикалық энергиясы сығылған газдың потенциалдық энергиясына және жылу энергиясына жұмсалады. Газдарды немесе буларды сығуға арналған компрессорлар төмендегідей машиналар болып бөлінеді: сығылу процесі газға үлкен жылдамдықпен берілу арқылы және кері ағымның кинетикалық энергиясы айдалатын газдың сығылу жұмысына алмасу бойынша; газ тікелей поршеннің әсерінен төменгі қысымнан жоғары қысымға беретін машиналар. Біріншіге жататындар – ортадан тепкіш және осьтік компрессорлар, екіншіге – поршеньді компрессорлар. Ортадан тепкіш агрегаттардың жұмысшы доңғалақтарында болатын, үлкен айналу жиілігі (3000 ... 27000 айн/мин) қалақшалардағы газға үлкен жылдамдық береді. Осының әсерінен пайда болған ортадан тепкіш күш газды сығуға әкеп соғады және диффузорда газдың жылдамдығы азаяды. Осы кезде шамамен газдың бағыты радиалдық бағытта болады. Осьтік компрессорларда газ ағымы жұмысшы доңғалақтардың айналу және бағыттаушы аппараттардың осі бойынша бағытталады; бұл кезде кинетикалық энергияның төмендеуінен диффузорда газдың қысымы жоғарылайды.

Айдалатын абсолюттік қысымның $P_{\text{айд}}$ ($P_{\text{шығ}}$) кірердегі қысымына $P_{\text{сop}}$ ($P_{\text{кіp}}$) қатынасын қысымның жоғарылау дәрежесі немесе ортадан тепкіш агрегаттардың сығылу дәрежесі дейді. Қазіргі уақыта газ айдау үшін, сығылу дәрежесі $E_a = 1,2 \dots 1,4$ тең ортадан тепкіш газ айдағыштар пайдаланылады, олар газды осьтілік және тангенциалды беру арқылы іске асады.

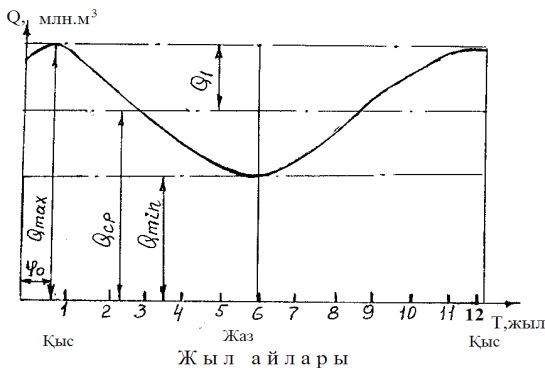
Қазіргі компрессорлы станциялардың көбісінде қолданылатын ортадан тепкіш агрегаттардың сығылу дәрежелері шамамен 1,4...1,5-ті құрайды. Әдетте, бұл сығылу дәрежесі екі тізбектеліп

қосылған айдағыштарда (бір топты машиналарда) жетуге болады. Газды әртүрлі сұлбаларда сығуды таңдау газ құбыры өнімділігінің өзгеру ауқымына және айдағыштардың жетектеуші типтеріне байланысты болады.

1.2. Компрессорлық станциялардағы газ айдағыштардың жұмыс тәртіптері

1.2.1. Газ құбырының өткізу қабілеттілігінің өзгеру сипаты

Қазіргі газ құбырларындағы газ айдағыштарының жұмыс режимдері газды жеткізудің біркелкі емес берілісімен сипатталды. Газ құбырының газды өткізу қабілеттілігінің өзгеруін бір тәуліктің ішіндегі (газды күндіз және түнде пайдалану) бір аптаның аралығындағы (газды жұмыс және демалыс күндері пайдалану) және бір жылдың ішіндегі (газды қыста және жазда пайдалану) өткізу қабілеттіліктерімен қарастыруға болады. Компрессор станцияларының өзгермелі жұмыс режимі газ айдағыш агрегаттардағы жүктеменің кемуіне және осыған байланысты отынды газ шығынының өсуіне әкеп соғады, осыған орай газ айдағыш агрегаттардың тиімділік ПӘК-ті өзгереді. Компрессор станциялардағы газ құбырлары арқылы айдалатын газ мөлшерін жеке ортадан тепкіш агрегаттарды қосумен немесе айырумен, сондай-ақ жетектеуші газ турбиналы қозғалтқыштың күштілік турбинасының айналу жиілігін өзгерту арқылы реттеуге болады. Кей кезде өтетін ағындық жүктемені жабу немесе ашу арқылы айдалатын газ мөлшерін реттейді. Бірақ, газ құбырының өткізушілік қабілеттілігін жеке газ айдағыш агрегаттарды ажырату және қосу арқылы реттеу іс жүзінде қолданылмайды, себебі газды сығымдауға жұмсалатын энергия шығыны көбейеді, осындай газ өткізу қабілеттіліктерді ескеру үшін мынадай технологиялық сұлбаны да (1.1-сурет) қолдануға болады. Бұл сұлбада бір жылдағы газ құбырының өткізу қабілеттілігі сипаттамасының өзгеруі көрсетілген. Бұл суреттен газ құбырының өткізу қабілеттілігі бір жылдың ішінде бірінші жуықтаумен косинусоидалы теңдеуімен сипатталатынын көреміз.



1.1-сурет. Бір жылдың ішіндегі газ құбырының өткізу қабілеттілігі сипаттамасының өзгеруі графигі

Косинусоидалы графиктен компрессорлық станцияның және газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режиміне ең көбірек әсер етуші газ құбырының маусымдық кездегі газ өнімділігінің өзгеруі көрінеді. Әдетте ең жоғары газдың берілісі желтоқсан – қаңтар, ал ең азы жылдың жазғы айларында (мамыр, маусым, шілде). Көрсетілген суреттегі талдау кезінде, жылдық мерзімде газ айдағыш агрегаттардың өнімділігі қалыпты теңгерілмеген және жүктемелік бойынша керекті қуат тербелісінің болуын көреміз.

Газ құбырларының өткізу қабілеттілігінің аналитикалық мәндерін пайдалану компрессор станцияларының энергожетектері қуатының өзгермелі ауытқуын бағалауға мүмкіндік береді және газ құбырларындағы энергожетектерінің орта жүктемелігін анықтауға, яғни компрессор станцияларындағы энергожетектердің өзіне тән жұмысын анықтауға жағдай жасайды.

Газ құбырларының орта апталық көлемдік өткізу қабілеттілігінің өзгеру сипаттамасы мына теңдеумен анықталады:

$$Q = Q_{opt} + Q_1 \cdot \cos(\varphi - \varphi_0), \quad (1.1)$$

мұндағы

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{t}{T}; \varphi_0 = 2\pi \cdot \frac{t_0}{T},$$

$Q_{орт}$ – газ құбырының орташа апталық өткізу қабілеттілігі (млн.м³/апта);

Q – газ құбырының бір жыл ішіндегі ай бойынша орташа апталық өткізу қабілеттілігі (млн.м³/апта); T – бір жылдағы өзгеру кезеңі ($T=12$ ай = 365 күн); t – жылдың күнтізбелік басынан қарастырылғаннан ең соңғы кезеңіне дейінгі апталық уақыт; t_0 – газ құбырының өнімділігінің максимальдық моментіне жеткен кездегі уақыт; Q_1 – газ құбыры өнімділігінің өзгеру амплитудасы

$$(Q_1 = Q_{max} - Q_{орт}).$$

Газ құбырының өткізу қабілеттілігі тербелісінің салыстырмалы амплитудасы немесе энергожетектеушінің (ГТҚ) жүктемесінің (жұмыс режимі) өзгеру сипаттамасы мына қатынаспен анықталады:

$$\beta = \frac{Q_1}{Q_{орт}} = \frac{Q_{MAX} - Q_{орт}}{Q_{орт}} = 0,05 \dots 0,15. \quad (1.2)$$

Газ кен орындарындағы өнімділіктің таусылуының нәтижесінде, жаңа газ кен орындарының пайда болуында және газ пайдаланушы орындарды айырудың себебінен газ құбырларын пайдалану кезде, олардың жұмыс режимдерінің өзгеруі мүмкін. Бұл жағдайда газ құбырының өткізу қабілеттілігінің (1.1) өзгеруін мынадай түрде жазуға болады:

$$Q = Q_{орт} + Q_1 \cdot \cos(\varphi - \varphi_1) + Q^I \cdot \frac{t}{T}, \quad (1.3)$$

мұндағы Q^I – қарастырып отырған кезеңдегі (жыл) компрессорлық станция арқылы газды берудің жоғарылауы немесе төмендеуі.

Теңдеуді (1.1) талдаудан біз мынаны байқаймыз, газ құбырының ең көп және ең аз салыстырмалы апталық өткізу қабілеттілігі мына қатынастармен анықталады:

$$\bar{Q} = \frac{Q_{max}}{Q_{орт}} = 1 + \frac{Q_1}{Q_{орт}} = 1 + \beta \quad (1.4)$$

$$\overline{Q} = \frac{Q_{\min}}{Q_{opt}} = 1 - \frac{Q_1}{Q_{opt}} = 1 - \beta \quad (1.5)$$

Компрессорлық станция агрегаттарының жүктемелі коэффициентін газ құбырының өткізу қабілеттілігінің салыстырмалы амплитудалық тербелісіне – β байланысты төмендегі қатынаспен анықтауға болады:

$$K = \frac{\sum Ne_{opt}}{\sum Ne_{nascn}} = 0,84 \dots 0,88 \quad (1.6)$$

мұндағы $\sum Ne_{opt}$ – компрессорлы станцияда жұмыс жасайтын барлық агрегаттардың орташа тиімділік қуаты (қосындысы). $\sum Ne_{nascn}$ – компрессорлы станциядағы жұмыс істейтін барлық агрегаттардың (қосынды) паспорттық қуаты. Ұзындығы L км құбыр жолы арқылы өтетін газ шығынын, млн. м³/ апта (қысым 0,1013 МПа және 20⁰ Сд-е) төмендегідей формуламен анықтайды:

$$Q = 105,1 \cdot 10,2 \cdot 10^{-6} \cdot D^{2,5} \sqrt{\frac{P_b^2 - P_c^2}{\lambda \cdot \Delta_a \cdot T_{opt} \cdot Z_{opt} \cdot L}}, \quad (1.7)$$

мұндағы D – газ құбырының ішкі диаметрі, мм; P_b және P_c – газ құбырының бастапқы және соңғы тармағына сәйкес қысымдар, МПа; $\lambda = 0,009$ – гидравликалық кедергі коэффициенті; Δ_a – ауа бойынша газдың салыстырмалы тығыздығы; T_{opt} – газ құбырының ұзындығы бойынша орта температура, К; Z_{opt} – газ құбырының ұзындығы бойынша газдың орта сығылу коэффициенті;

L – газ құбыры тармағының ұзындығы, км.

Осы формуланың (1.7) негізінде екі компрессорлы станция тармағы арасындағы газ құбырының өткізу қабілеттілігін анықтауға болады. Компрессорлық станцияға жұмсалатын

куатты газ құбырының өнімділігіне байланысты мына формула бойынша анықтауға болады:

$$N_{kc} = 1,36 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{K \cdot Z_{kip} \cdot \Delta_a \cdot Q}{(k-1) \cdot \eta_a} \cdot \left[\left(\frac{P_a}{P_c} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1.8)$$

мұндағы K – адиабаттық көрсеткіш коэффициенті;

η_a – п.э.к.-ті; T_{kip} – айдағышқа кірердегі газдың температурасы, К;

R_g – газ тұрақтысы, Дж/(кг.к).

Келтірілген қатынастар компрессорлық станцияларындағы энергожетектің жұмыс ерекшелігін сипаттайды, сонымен бірге энергожетектеушілердің өзгермелі жұмыс режимінің есептелуі қажет екендігін көрсетеді (тікелей жеке агрегаттың куатын реттеу немесе тікелей компрессорлы станцияда жұмыс жасайтын агрегаттардың санын өзгерту арқылы).

1.2.2. Газ айдағыш агрегаттарда қолданылатын газ турбиналы қондырғылардың принципиалдық сұлбалары

Газ турбиналы қондырғылар (ГТҚ) жылу – қозғалтқышы болып есептеледі, онда турбинаның білігіндегі пайда болатын механикалық энергия отынның жану өнімінің (газдың) ағынының потенциалдық энергиясының нәтижесінде болады. Газ турбиналы қондырғыларының негізгі элементтері: газ турбинасы, жану камерасы, ауа компрессорлары жатады. Газ турбиналы қондырғылардың негізгі циклдік процестері жұмыстық дененің өту жолында орналасқан қозғалтқыштың әртүрлі элементтерінде (компрессор, жану камерасы, газ турбинасы) іске асады.

Газ турбиналы қондырғыларда жұмыстық дене сығылу, ұлғаю процестерін ұйымдастыру тәсілдеріне тәуелді, сондықтан жұмыстық денеге беру әдістері төмендегі сұлбаларға сәйкес орындалуы мүмкін (1.2–1.5 суреттер).

Газ турбиналы қондырғыларының газ турбинасы турбомашина болып есептеледі, онда жанған отынның жылу энергиясы айналатын роторда механикалық энергияға ауысады.

Турбинаның соплалық аппаратында жұмысшы дененің ішкі энергиясының бір бөлігі – газ ағынының кинетикалық энергиясына өтеді, сосын жұмысшы доңғалақта кинетикалық энергиясының бір бөлігі – айналатын ротордың механикалық энергиясына ауысады. Әдетте, соплалық немесе бағыттаушы аппараттардың және жұмысшы қалақшаның тізбектілі қосылуын (қосындысын) турбинаның сатысы деп атайды. Жұмысшы денеге жылу берудің, жұмысшы денеде сығылу және ұлғаю процестерін ұйымдастыру тәсілдеріне байланысты, газ турбиналы қондырғылар ашық және жабық циклді қозғалтқыштар болып бөлінеді.

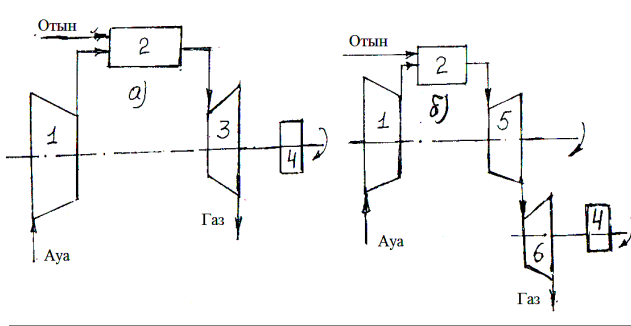
Ашық циклді газ турбиналы қондырғыларда сыртқы ауа, сығылу және ұлғаю процестерін және жылу беру жүйесін өте отырып, жану өнімімен бірге сыртқы атмосфераға жіберіледі, содан кейін оны келесі болатын циклде алғашқы күйіне қайтару мүмкін емес. Мұнай және газ кәсіпшілігінде ашық циклді газ турбиналы қондырғылар қолданылады. Қарапайым ашық циклді газ турбиналы қондырғылар механикалық құрылымдылық жағынан бір білікті (1.2 а-сурет) және екі білікті (немесе кесілген білікті) (1.2 б-сурет) болып бөлінеді.

Бір білікті қондырғыда (1.2 а-сурет) және газ айдағыш агрегаттардың барлық элементтеріне осьтік компрессор, газ турбинасы және газ айдағыштар бір біліктің бойында орналасқан, сондықтан олардың айналу жиіліктері де бірдей. Газ құбырларындағы және бір білікті газ турбиналы қондырғылар әртүрлі өзгерістерге байланысты айналу жиілігі азайған жағдайда газ турбиналы қондырғыда өз қуатын жояды, осыған байланысты айдағышқа қажет қуаттылық кемиді.

Бір білікті газ турбиналы қондырғылы айдағыштың жұмыс режимін тек шектік диапазонда қамтамасыз етеді. Осыған байланысты қазіргі уақыттары газ құбырларындағы газ айдағыштар үшін бір білікті газ турбиналы қондырғыларды пайдаланбайды. Екі білікті газ турбиналы қондырғының (1.2 б-сурет) көрсеткіштерін тұрақтандыру үшін, өзгермелі жүктемелерде (газ құбырларында) кеңінен қолданылады, қай кезде төменгі қысымды газ турбинасы (ТҚТ) 6 өзгермелі айналу жиілігінде жұмыс жасағанда, әртүрлі пайдалы өзгермелі (жүктемедегі) айдағыштағы 4 қуаттардың мәніне сәйкес келеді.

Бөлек екі білікті немесе тәуелсіз күштік турбинылы қондырғыларда (1.2 а,б-сурет) айдағыштың білігі турбокомпрессордан бөлек, сондықтан айдағыш өзіне қажет айналу жиілігін алып, пайдалы қуаттылыққа ие болады. Бұдан басқа осьтік компрессор білігінің тұрақты айналу жиілігінде және күштік біліктің өзгермей айналуында, сонымен қатар күштік төменгі қысымды турбинаның (ТҚТ) өте кең айналу жиілігінде де жоғары қысымды турбина (ЖҚТ) алдындағы температура тұрақты түрде қала береді.

Екі білікті газ турбинылы қондырғылардың экономикалық көрсеткіштері, бір білікті газ турбинылы қондырғылармен салыстырғанда жақсы, ондай көрсеткіштерге жүктемелік және есептік көрсеткіштері жатады. Осындай айырмашылықтарға байланысты регенераторсыз (1.2 а,б-сурет) және шығатын газдың жылуын регенерациялаушы (1.3-сурет) екі білікті газ турбинылы қондырғылар газ құбырларында өте кең қолданылады.



1.2 а,б -сурет. Қарапайым ашық циклді газ турбинылы қондырғылардың принципалдық сұлбалары:

1-осьтік компрессор; 2 – жану камерасы; 3 – газ турбинысы;
4- пайдалы жүктеме (газ айдағыш); 5 – жоғары қысымды газ турбинысы (ЖҚТ); 6 – төменгі қысымды газ турбинысы (ТҚТ) (күштік турбина)

Қарапайым схемалы газ турбинылы қондырғыларының жұмыс істеу принципі төмендегіше өтеді: атмосфералық ауа, сүзгіш жүйелерінен өтіп, осьтік компрессорге 1 беріледі. Осьтік компрессордан сығылғаннан кейін ауа 0,5 ... 0,7 МПа

қысым және $180 \dots 240^0$ С температурамен жану камерасына 2 барады, онда ол екі ағынға бағытталып бөлінеді: аздау бөлігі (20 ...40%) берілген отындық жанармаймен от (отындық газбен) бірге тікелей жану процесіне қатысады, ал оның көптеу бөлігі (60 ...80%), жану камерасының тұрғысымен (корпусы) және оның ыстық құбырының (қабырғасының) арасынан өтіп, жану камерасының ыстық құбырын салқындата отырып, жану камерасының соңындағы жану қоспасымен араласып, жану камерасынан шығатын газдардың температурасын керекті шамаға дейін төмендетеді. Газ турбинының қалақшасымен роторының ыстыққа шыдау төзімділігіне байланысты стационарлық газ турбинылы қондырғыда жану камерасынан турбинаға кірердегі газдың температурасы $750\dots 900^0$ С шамасында болады. Газ турбинысынан кейін шығатын жану өнімділігі $400 \dots 450^0$ С температурамен атмосфераға шығарылады. Жалпы газ турбинысының өндірген қуатының 60...70%-ті осьтік компрессорды жетектеуге жұмсалады, ал қалғаны пайдалы жүктемелерді (насосстарды, желдеткіштерді, айдағыштарды, т.б.) жетектеуге жұмсалады.

1.2.3. Шығатын газдың жылуын регенерациялаушы газ турбинылы қондырғылардың принципиалдық сұлбасы

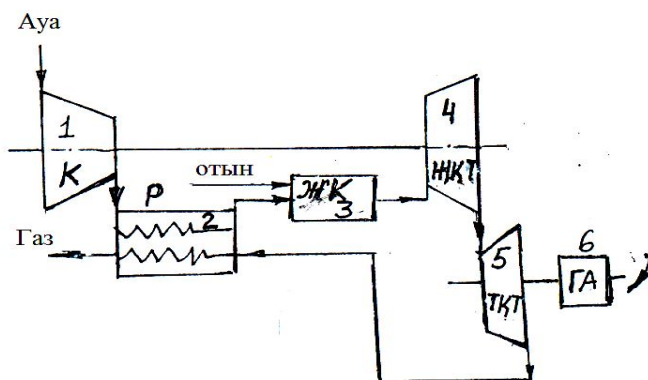
Турбинадан кейінгі шығатын газдың жылуын жану камерасына баратын ауаны жылытуға пайдалануды – жылуды регенерациялау (қайта пайдалану) дейді.

Жылуды регенерациялау газ турбинылы қондырғыларына берілетін отын шығынын азайтады және қондырғының экономикалық көрсеткіштерін жақсартады.

Бұл кезде қондырғылардың пайдалы әсер коэффициенттері 32–35% дейін жетеді, яғни шығатын газдардың жылуын регенерацияламайтын қондырғыларға қарағанда ПЭК-і 4–5% көбейеді. Шығатын газдардың жылуын регенерациялаушы газ турбинылы қондырғының принципиалдық жұмыс сұлбасы төменде 1.3-суретте көрсетілген. Шығатын газдардың жылуын регенерациялаушы қондырғыларда (1.3-сурет) жұмыстық процесс төмендегіше өтеді:

Атмосфералық ауа сүзгі жүйелерінен өтеді және осьтік компрессорда 1 сығылып ауа қыздырғышқа (регенератор) 2 келеді, онда газ турбинасынан шыққан газдардың жылуы арқылы оның температурасы 200...250°C-ге дейін көтеріледі.

Регенератордан кейін сығылған ауа жану камерасына (ЖК) түседі, бұл жерге екінші жақтан отын газы беріледі. Отын жанғаннан кейін жоғары қысымды турбина (ЖҚТ) алдындағы жанған өнімнің температурасы турбина дискілері мен қалақшаларының ыстыққа төзімділік температурасына дейін (900 °C) жетеді.



1.3-сурет. Пайдаланылған газдардың жылуын регенерациялаушы газ турбиналы қондырғының принципиялық сұлбасы:

1—осьтік компрессор; 2—регенератор; 3—жану камерасы;
4—жоғары қысымды турбина (ЖҚТ); 5—төменгі қысымды турбина (ТҚТ); 6—пайдалы жүктеме (газ айдағыш)

Газ төменгі қысымды турбинада ұлғайып жанған өнім регенераторға 2 өтеді, бұл жерде температураның бір бөлігі – компрессордан сығылып келе жатқан ауаны қыздыруға жұмсалады, ал салқындатылған газ түтін құбыры арқылы атмосфераға шығарылады.

Бұл жерде қаптарланған (пластинкалы) регенераторлардың конструкциялық және технологиялық кемшіліктерін айта кеткен жөн, себебі газ турбиналы қондырғыны бірнеше рет қосып

ажыратқаннан кейін регенератордың саңылаусыздығы жоғалады.

Осыған байланысты регенератор өз көрсеткіштерін жояды, регенерациялау дәрежесі азаяды және газ турбиналы қондырғының техникалық сипаттамасы төмендейді. Қазіргі кездері бұл регенератордың орнына құбырлы (трубчатый) және термоқаптарланған регенераторлар қолданылады.

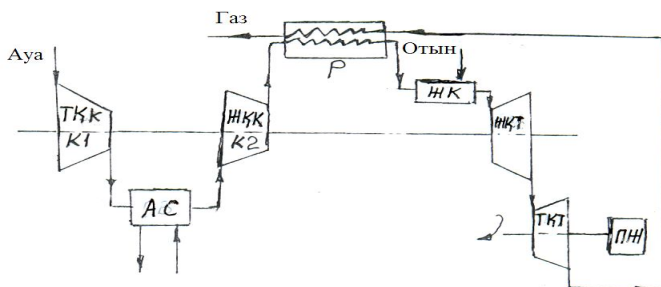
1.2.4. Ауаны сатылы сығымдаушы және аралық салқындатушы газ турбиналы қондырғыларының принципіалдық сұлбасы

Ауаны сатылы сығымдаушы, аралық салқындатушы және шығатын газдың жылуын регенерациялаушы газ турбиналы қондырғының принципіалдық жұмыс сұлбасы 1.4-суретте көрсетілген.

Атмосфералық ауа компрессор К1 мен сорылады және белгілі қысымға дейін сығылады, сосын ауаны салқындатқышқа (АС) бағыттайды, онда ол ауа тұрақты қысымда салқындайды және сосын компрессор К2-ге барады, онда белгілі қысымға дейін сығылады. Бұдан кейін ауа регенератор Р арқылы өтеді, онда ол турбинадан шығатын газдың жылуымен қыздырылып жану камерасына ЖК барады. Жану камерасынан жану өнімділігі жоғары қысымды турбинаға бағытталады, ал сосын төменгі қысымды турбинада ұлғайып, регенератор арқылы атмосфераға кетеді.

Газ айдағыш агрегаттарды пайдалану кезінде ауаны сатылы екі осьтік компрессорлармен сығымдаушы газ турбиналы қондырғылар қолданылады және олар да аралық салқындатылмайтын күштік еркін турбиналары болады. Мұндай газ турбиналы қондырғылар авиациялық түрлерінде жасалған, жоғары сығымдау дәрежесі (18...25), іске қосу және өзгермейтін режимдерде компрессорлардың орнықты жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. Жанған өнімнің турбина алдындағы жоғары температурасына және жоғары сығымдау дәрежесі бұл қондырғылардың ПЭК-нің деңгейін 33...35 %-ға және одан да жоғарылатуға мүмкіндік туғызады.

Төменгі және жоғарғы қысымды компрессорлар жетегі орта және жоғарғы қысымды турбиналардан «біліктегі білік» сұлбасында іске асады (1.4-сурет). Бұл қондырғыларда үш турбина болады: жоғары, орта және төменгі қысымды турбиналар. ЖҚТ – жоғары қысымды турбина; ТҚТ – төменгі қысымды турбина; К1–төменгі қысымды осьтік компрессор (ТҚК бірінші сығылу сатысы); К2–жоғары қысымды осьтік компрессор (ЖҚК) (екінші сығылу сатысы); Р – регенератор; ЖК – жану камерасы; АС – ауа салқындатқыш; ПЖ – пайдалы жүктеме (айдағыш);



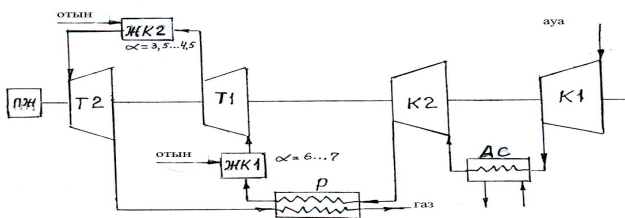
1.4-сурет. Ауаны сатылы сығымдаушы, аралық салқындатушы және шығатын газдың жылуын регенерациялаушы газ турбиналы қондырғының принципіалдық сұлбасы

1.2.5. Жұмыстық дененің ұлғаюында оны сатылы жандырушы және ауаны аралық салқындатушы газ турбиналы қондырғының принципіалдық сұлбасы

Сығылу процесіндегі аралық жылу шығару; ұлғаю процесіндегі аралық жылу беру және регенераторлы газ турбиналы қондырғысының сұлбасы. Төменде 1.5-суретте көрсетілген ол өте күрделі жылу техникалық түрде өтеді, бірақ ПЭК деңгейін 43–47%-ға дейін көтеруге мүмкіндік береді. Бұл сұлбада жұмыс істейтін газ турбиналы қондырғыларды өте күрделі жылу техникалық жабдықтарға жатқызуға болады.

Ауа салқындатқыш (АС) арқылы ауа компрессорда К1-ден сығылғаннан кейін компрессор К2-ге барады. Содан кейін ауа регенератор арқылы бірінші жану камерасына ЖК1 келеді, одан

жану өнімділіктері бірінші сатыдағы турбинаға Т1 бағытталып ұлғаю өтеді. ЖК-де ауаның үлкен артық коэффициентінің $\alpha = 6...7$ есерінен ЖК-2-де отын қосымша берілмей жанатын болады. Бұл кезде ауаның артық коэффициенті $\alpha = 3,5...4,5$ тең болады. ЖК2-ден жану өнімділіктері екінші сатыдағы турбинаға Т2 келеді, онда ұлғаяды және регенератор арқылы өтіп, жылуын К2 компрессорда сығылған ауаға береді де, атмосфераға шығарылады. Ауаның қысымын жоғарылату үшін аралықтарында ауа салқындатқыш орнатылған екі компрессор қарастырылған, ал жұмыстық дененің ұлғаюы екі газ турбиналарында өтеді, олардың алдарында екі жану камералары (ЖК) ЖК1 және ЖК2 қондырылған. К1–төменгі қысымды компрессор (ТҚК–бірінші сығылу сатысы); К2 – жоғары қысымды компрессор (ЖҚК екінші сығылу сатысы) Р – регенератор ЖК1–бірінші сатының жану камерасы; ЖК2 – екінші сатының камерасы; Т1– бірінші сатыдағы турбина; Т2 – екінші сатыдағы турбина; АС – ауа салқындатқыш; ПЖ – пайдалы жүктеме.;



1.5-сурет. Жұмыстық дененің ұлғаюында оны сатылы жандырушы және ауаны аралық салқындатушы газ турбиналы қондырғының принципиялдық сұлбасы

Бұл кезде газ турбиналы қондырғының ПӘК-ті 3...5 %-ке, ал пайдалы жұмысы 1,5...2 есе көбейеді. Газ құбырларындағы газ айдағыш агрегаттар үшін қазіргі кезде үш білікті газ турбиналы қондырғылар қолдануда. Жану өнімділіктері ЖК1-ден жоғары қысымды турбинаға барып ұлғаю жұмысын жасайды. Содан кейін жану өнімділіктері алдымен орта қысымды турбинада және күштік турбинада ұлғаяды. Орта

қысымды турбинаның жұмысы компрессор К1-ді жетектеуге жұмсалады, ал күштік турбинаның жұмысы пайдалы жүктемені жетектеуге жұмсалады. Жоғары қысымды және орта қысымды турбиналар бір білікте орналасқан.

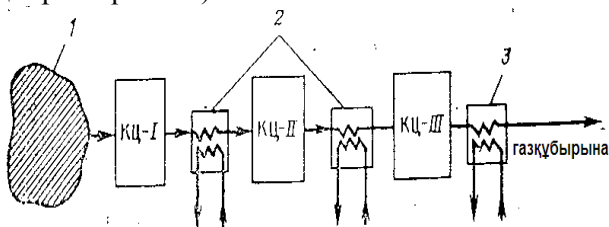
1.3. Компрессорлық станциялардың технологиялық және ондағы газ айдағыш агрегаттардың қосылу сұлбалары

1.3.1. Компрессорлық станциялардың басты және тізбектілі қосылуларының технологиялық сұлбалары

Қазіргі компрессорлық станциялары – бұл күрделі және үлкен технологиялық құрылыстар, негізінде газды дайындауда және тасымалдауда технологиялық процестерді қамтамасыз етеді: өндірілген газды шандардан және әртүрлі қоспалардан тазалау, оны салқындату және сығымдау технологиялық процестері жүргізіледі. Магистральды газ құбырларында компрессорлық станциялар екі түрге бөлінеді: басты компрессорлы станциялар (БКС) және тізбектілі компрессорлы станциялар (ТКС). Басты компрессорлық станцияларды тікелей газ кен орындарына жақын орнатады, ал тізбектілі компрессорлық станцияларды газ құбырлы трассаның бойында 100...150 км бір-бірімен өзара қашықтықта орнатады. Жалпы компрессорлық станциялардағы қондырылған жабдықтардың түріне және технологиялық қосылу схемаларға бірдей тасымалданатын табиғи газды төмендегідей өңдеумен дайындау қарастырылған: механикалық қоспалардан және дымқылдық тамшыдан тазарту; газды салқындату; сығымдау). Басты компрессор станцияларда газды қосымша дымқылдан айыру; көмір қышқылынан және күкірттік сутегіден тазарту; газды одеризациялау және өлшеу жүргізіледі. Сондай-ақ, технологиялық схемада агрегаттарды маймен қамтамасыздандыру және майлау, сумен қамтамасыздандыру және салқындату, электрмен қамтамасыздандыру жүйелері қарастырылған.

Алғашқы кезеңде жаңа кен орындарын игергенде, бастапқы кезде қабаттық қысым үлкенде болады, сондықтан газ сығымдауды қажет етпейді. Басты компрессорлық станцияларды негізінде газ кен орындарына жақын орналастыру

– тек кен орындарының қабаттық қысымы төмендеген жағдайда пайдаланады, яғни магистральдық құбырдағы сығылатын газ қысымын керекті деңгейде ұстау үшін орнатады. Мысал ретінде 1.6-суретте үш сатылы сығымдаушы (компрессорлы цехты) басты компрессорлық станциялардың технологиялық сұлбасы көрсетілген. Бұл кезде басты компрессорлық станцияларда табиғи газдың сығылу процесін тізбектілі кезең ретінде қарауға болады. Бірінші кезеңде қысым тізбектілі компрессорлық станцияларына кірердегі қысымға теңестіріледі (сығымдаушы КС-ның жұмыс режимі), ал екінші кезеңде – магистральды газ құбырларының есептелінетін қысымына теңестіріледі (тізбектілі КС-ның жұмыс режимі).



1.6-сурет. Үш компрессорлы цехты КҚ – I, КҚ – II, КҚ – III басты компрессорлы станциясының (БКС) технологиялық сұлбасы

Магистральды газ құбырларындағы компрессорлық станциялар үш түрге бөлінеді: Басты, тізбекті (сызықты) және сығымдаушы компрессорлық станциялар. Басты компрессорлық станция (БКС) газ кен орнынан кейін табиғи газдың өту жолына орналастырылады. Газды кен орында газды өндіру барысында кейде қысым төменгі деңгейге дейін азайып кетеді, сондықтан газды тасымалдауда қажетті қысым деңгейін сәйкестендіруді қажет етеді. Осы қажетті қысым мен шығынды өз деңгейінде ұстап тұру үшін бастылы компрессорлық станциялар салынады. Басты компрессорлық станциялардың негізгі мақсаты – магистральды газ құбырлары арқылы әрі қарай айдалатын технологиялық газ қысымын көтеру болып табылады. Басты компрессорлық станция (БКС), тізбекті (линиялық) компрессорлық станциялардан (ТКС) принципіалды айырмашылығы оның станциядағы жоғары

қысымды дәрежеде сығымдауында, себебі бірнеше ортадан тепкіш немесе поршеньді газмотокмпрессорлы газ айдағыш агрегаттар тізбекті түрде қосылып жалғастырылады. Тізбекті (ұзындықтағы) компрессорлық станциясы (ТКС) магистральды газ құбырларының әр 100...150 шақырым аралықтарында орналастырылады.

Тізбекті компрессорлық станциялардың атқаратын қызметі – ол станцияға кіре берістегі табиғи газдың қысымын шыға берістегі жобалық қысыммен сәйкестендіру $P_{\text{жоб}} = 5,5 \text{ МПа}$ немесе $P_{\text{жоб}} = 7,5 \text{ МПа}$. Сонымен қатар, магистральдағы өтетін газ шығынын қамтамасыз етіп отырады.

Сығымдаушы компрессорлы станция жерасты газ қоймаларында орналастырылады. Сығымдаушы компрессорлық станцияның атқаратын қызметі магистральды газ құбырларындағы газды жерасты газ қоймаларына беру және одан қажетті табиғи газды айырып, әрі қарай құбыр магистральдарына немесе тұтынушыларға беру. Кен орындарындағы газдың жерасты қысымы азайып кетуіне байланысты кей жағдайларда сығымдаушы компрессорлы станция газ кен орындарында орналастырылады. Сығымдаушы компрессорлық станцияның, тізбекті компрессорлық станциясынан айырмашылығы оның жоғары дәрежеде сығымдауы 2...4, технологиялық газды дайындау жолдарының жақсаруы жерасты қоймаларынан келетін газды механикалық қоспалардан және ылғалдан тазарту (кептіру, тазалау, шаңдарын жинау). Осыдан кейін газды тұтынушыларға беру алдында газ тарататын станциясы (ГТС) салынады, бұл жерде газ шаруашылығы тармақтарына беру үшін газ қажетті қысымдарға дейін ($P=1,2; 0,6; 0,3 \text{ МПа}$) сығылады. Участке мен компрессорлық станциялар арасындағы қысым айырымы газ айдағыш агрегаттардағы қысымның көтерілу дәрежесін анықтайды. Құбыр участкесі соңындағы газ қысымы газ айдағыш агрегаттарға кіре берістегі қысыммен тең, ал участке басындағы қысым газ аппаратынан шыға берістегі газды ауамен салқындататын (АС) қысымға тең. Газ құбырындағы газ қысымының төмендеуі деп – құбырдың өткізу қабілеттілігін айтады. Осыған байланысты газдан берілетін жылу берілісі құбыр қабырғасы арқылы топыраққа және атмосфераға беріледі де, тасымалданатын газ температурасы төмендейді.

Магистральды газ құбырындағы трасса бойында орналасқан компрессорлық станцияның принципалды сұлбасы және компрессорлық станция аралығындағы газ температурасы мен қысымының өзгеруі төменде 1.7-суретте көрсетілген.



1.7-сурет. Магистральды – газ құбырындағы қысым мен температуралардың өзгеру сұлбасы

1.3.2. Газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станцияға параллельді және тізбектілі таңғышты қосылған технологиялық сұлбалары

Компрессор цехтағы технологиялық біріктіргіштерінің атқаратын қызметі мыналар:

- Магистральды газ құбырларындағы технологиялық газды компрессорлық станцияларда қабылдау;
- Технологиялық газдарды шаң тозаң ұстағыш және аспапты сүзгілермен механикалық қоспалардан және газ тамшы ылғалдарынан тазалау;
- Газ айдағыш агрегаттарды жүктеу сұлбаларын реттеу және келесі сығымдау мақсатында газ ағындарын тарату;
- Ауамен салқындату аппаратынан (АСА) кейін газды салқындату;
- Қосу және ажыратуда компрессор цехын (КЦ) «Сақина стационарлығына шығару»;
- Газды магистральды газ құбырына жеткеріп беру;

- Газдың магистральды газ құбырлары арқылы компрессорлы станцияларға кірмей, транзитті түрде өтуі;

- Қажетті жағдайда компрессор цехтағы барлық технологиялық газ құбырларынан газды атмосфераға білтелі шүмек арқылы шығару;

- Компрессорлы станцияларда қолданылатын ортадан тепкіш айдағыштардың түрлеріне байланысты газ айдағыш агрегаттардың таңғыштық принципіалды сұлбасы екі түрлі болады:

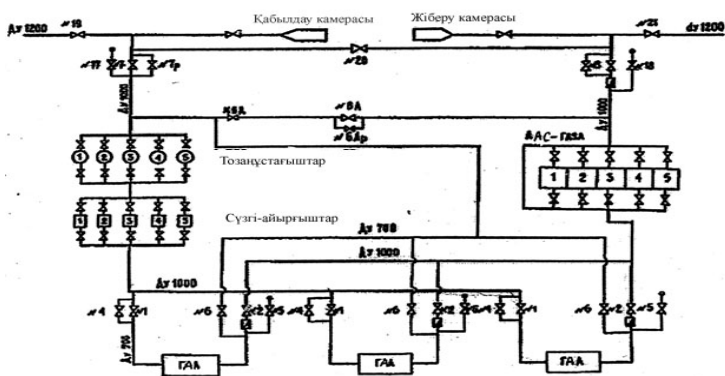
- Параллель коллекторлы таңғышты сұлба, толық арынды айдағыштарға арналған;

- Тізбекті таңғышты сұлба, арындары толық емес айдағыштарға арналған. Арыны толық емес айдағыштың арын бөлімінің сығылу дәрежесі 1,23...1,25-ке есептелген. Пайдалану барысында сығымдау дәрежесін 1,45-ке және одан да жоғары көтеру үшін, екі немесе үш сатылы сығымдауды қажет етеді.

Компрессорлық станцияға кіре берістегі және шыға берістегі жобалы газ қысымын қамтамасыз ету үшін, толық арынды айдағыштардың ағын бөлімінің конструкциясы осыған есептелінген, тіпті ротордың номинал айналу жиілігін, сығылу дәрежесін 1,45-ке дейін көтеруге мүмкіндік бар. Төменде 1.8-суретте компрессорлық станцияның принципіалдық технологиялық сұлбасы толық арынды айдағыштарды пайдаланудағы газ айдағыш агрегаттардың параллель таңғыштығы көрсетілген. Бұл сұлба бойынша диаметрі 1200 мм (Ду 1200) газ құбырынан газ №19 күзет шүмек арқылы магистральды газ құбырымен компрессорлық станцияның қосу торабына келеді.

Бұл жерде №19 күзет шүмегінің атқаратын қызметі, ол газ айдағыш агрегаттардың немесе компрессорлы станцияның технологиялық таңғыштарында болатын қандай да бір аппаттардан сақтау, магистральды газ құбырларын компрессорлы станциядан автоматты түрде ажырату болып табылады. №19 күзет шүмегінен кейін газ №7 шүмек кіре берісіне келеді. №7 шүмектің атқаратын қызметі компрессорлық станцияны магистральды газ құбырынан автоматты түрде ажырату. №7 кіру шүмегінде №7р айналма шүмек бар, бұл

компрессорлық станцияның технологиялық таңғыштарындағы барлық жүйесін газбен толтыру.



1.8-сурет. Газ айдағыш агрегаттардың параллельді таңғыштығындағы компрессорлық станцияның принципиалдық технологиялық сұлбасы

Тек магистральды газ құбырларындағы қысымды және технологиялық коммуникация станциясындағы қысым теңгерілгеннен кейін №7р шүмек көмегімен №7 шүмек жабылады. № 17 білтелі шүмектің атқаратын қызметі, ол станция коммуникацияларына өндірістік профилактикалық жұмыстар жүргізгенде, сонымен қатар компрессорлық станцияда болатын аппараттық жағдайлар кезінде де қолданылады. Газ №7 шүмектен кейін тазалау қондырғысына келеді, бұл жерде шаң-тозаң ұстағыш және сүзгі сеператорлары арқылы өтіп, механикалық қоспалардан және ылғалдықтан тазартылады. Тазаланған газ Ду100 құбыры арқылы компрессор цехының кіре беріс коллекторына келеді және газ айдағыш агрегаттың кіре беріс құбырларына бөлінеді де Ду-700 №1 шүмек арқылы ортадан тепкіш айдағышқа беріледі. Ортадан тепкіш айдағышта сығымдалған газ кері клапан арқылы өтіп, шыға берістері №2 шүмек және Ду1000 құбыры мен газ салқындатқыш қондырғыға (ГСК) келеді. Салқындатылған газ шыға берістері шлейф арқылы Ду1200 құбырына және №8 шүмектен магистральды газ құбырына келеді. Газ құбырынан

газ ағыны кері кетіп қалмау үшін №8 шүмек алдына кері клапан орнатылады. Егер № 8 шүмекті ашқанда газ ағыны пайда болса, онда ол ортадан тепкіш айдағышты және күштік турбина роторын кері айналдырып жібереді, бұл жағдайда компрессорлық станцияда апаттық жағдай туындайды.

Компрессорлық станциясының қосу торабындағы №8 шүмектің қызметі №7 шүмек қызметіне ұқсас. Газды атмосфераға жіберу №18 бітелі шүмек арқылы іске асырылады, ол газ жолында №8 шүмек алдында орналастырылған.

Компрессорлық станцияны қосу торабындағы құбырдың Ду1200 кіру және шығару аралығында № 20 шүмегі бар қосқыш құрылғы орналастырылған.

Бұл қосқыш құрылғының атқаратын қызметі – компрессорлық станциясын ажыратқанда (№7, № 8 шүмектер жабық, №17, №18 бітелі шүмектер ашық), газ ағынын транзитті түрде айналып өткеру үшін компрессор станциясынан кейін, магистральды газ құбырында №21 күзет шүмегі орналастырылған, оның атқаратын қызметі №19 күзет шүмегі сияқты. Компрессорлық станцияны пайдалану кезінде станциядан шыға берістегі қысым шамасы рұқсат етілген немесе жобалық максималь қысымда өтуі мүмкін. Станциядағы мұндай жұмыс режимді жою үшін құбыр кіре берісіне және шыға берісіне № 6А шүмек Ду 500 қосымша құрылғыны орнатады.

Газ айдағыш агрегаттың помпажды зонада жұмысын болдырмау үшін № 6 шүмекке параллель № 6АР шүмегін ойып орнатқан. Бұл қарастырылып отырған компрессорлық станциясының технологиялық таңғыштық (біріккіштік) сұлбасы бірнеше газ айдағыш агрегаттардың параллель жұмыс істеуіне мүмкіншілік береді.

Мұндай сұлбадағы компрессорлық станцияда толық арынды айдағыштардың сығылу дәрежесі 1,45...1,5-дық газ айдағыш агрегаттары қолданылады. Төменде 1.9-суретте, газ айдағыш агрегаттардың тізбекті таңғыштық түрдегі толық емес арынды айдағышты компрессорлық станциясының принципалдық технологиялық сұлбасы көрсетілген. Бұл сұлба бір, екі, үш немесе бір топ газ айдағыш агрегаттардың параллель жұмыс беруіне тізбекті жалғасқан екі немесе үш газ айдағыш

ұстағышқа келеді де, газ механикалық қоспалардан және газ тамшыларынан тазартылады. Тазартылған газ ортадан тепкіш газ айдағышқа келіп қажетті қысымға дейін сығылады. Компрессорлық станция сұлбаларындағы көрсетілген шүмектер газ құбырларына қосу және ажырату, газ келетін желіден, газ айдағыштарға және одан ары қарай айдап, жұмысты реттеп отыру үшін қолданылады. Негізінен газ құбырларының жұмыс режимдері компрессорлық станцияның жұмыс параметрлерімен анықталады. Қолдану процесінде газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режимдері айнымалы болады, ол газ құбырлары өнімдерінің уақытқа байланысты және қоршаған ортаның сыртқы ауа параметрлерінің ($P_{атм}$, $T_{атм}$) өзгерулеріне байланысты.

1.3.3. Компрессорлық станциядағы ортадан тепкіш агрегаттардың технологиялық таңғыштық сұлбалары

Толық арынсыз және толық арынды айдағыштың технологиялық таңғыштық сұлбалары 1.10–1.11-суреттерде көрсетілген. Таңғыштықтағы айдағыштардың шүмектерінің нөмірлері және аттары бар:

- №1 шүмек – газды қабылдау үшін қызмет атқарады және ол сору құбырына орналастырылады;

- №2 шүмек – газды шығару үшін қолданылады және ол шыға беріс құбырына орналастырылады;

- №3 шүмек – айналып өту, тек толық арынсыз айдағыштарда қолданылады және ол 2 және 3 агрегатты топтарда жұмыс істеу үшін қолданылады;

- №3 бис – айналма кран – газ айдағыш агрегатты қосу және ажырату кездерінде, қайта орналастыруда қолданылады;

- №4 шүмек – №1 кранды айналып өту және іске қосу алдында айдағыш контурын толтыру үшін;

- №5 – свечалы балауыз шамды (свечалы) айдағыш құбырда №2 кранға дейінгі аралықта орналасқан және ортадан тепкіш сорапты (ОТС) іске қосу алдында үрлеу және газ айдағыш агрегат тоқтап қалған жағдайда газды атмосфераға шығару үшін қызмет атқарады;

- № 6 – іске қосу контурын қолдану қраны, тек толық арынды ортадан тепкіш сораптарда қолданылады және газ айдағыш агрегаттың сақиналы жұмысын қамтамасыз етеді.

Толық арынсыз айдағыштың жұмыстық сұлбасы 1.10-суретте көрсетілген. Ортадан тепкіш сорапты толтыру алдында №4 және №5 шүмектер арқылы міндетті түрде оны үрлеп тазартады, үрлеу уақыты газ айдағыш агрегаттардың түрлеріне байланысты 15–40 с шамасында. Осыдан кейін №5 білтелі шүмекті жабады, бұл жағдайда контурдағы қысым көтеріле бастайды. №1 шүмектегі қысым 0,08...0,1 МПа-ға өскенде №1 және № 2 шүмектер ашылады.

Газ айдағыш агрегат жұмыс істегенде газ сору коллекторынан №1 шүмек арқылы айдағышқа келіп сығымдалады және №2 шүмек арқылы айдағыш құбырға бағытталады (1.10-сурет) бұл жағдайда № 43 шүмек жабық немесе екі сатылы сығымдауды қамтамасыз ету үшін келесі агрегатқа бағытталады, бұл жағдайда № 44 шүмек ашық. Толық арынды айдағышы бар сұлбада (1.11-сурет) қосымша элементтер кездеседі. Олар № 6, №6 а және кері клапандар.

Айдағыштарда пайдаланатын толық арынды таңғыштық сұлбаның, толық арынсыз таңғыштықтардан ерекше айырмашылықтары мыналар:

- толық арынсыз ортадан тепкіш сораптарға қарағанда, толық арынды таңғыштық сұлбаларда басқару өте қарапайым;

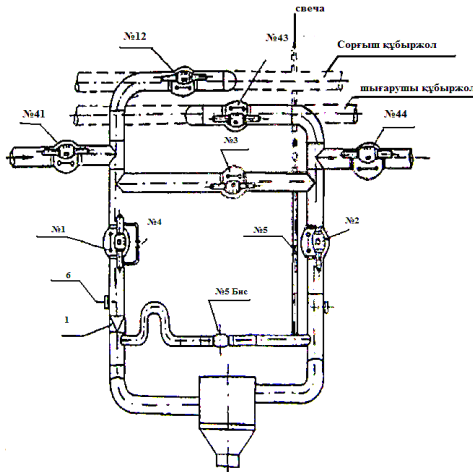
- толық арынды ортадан тепкіш сорапты сұлбалы айдағыштарда кез келген қордағы «резерв» агрегаттарымен жұмыс істеуге мүмкіншілік береді;

- топтағы толық арынсыз бір газ айдағыш агрегат токтату кезінде екінші агрегатты «сақиналы» режимге шығаруды талап етеді;

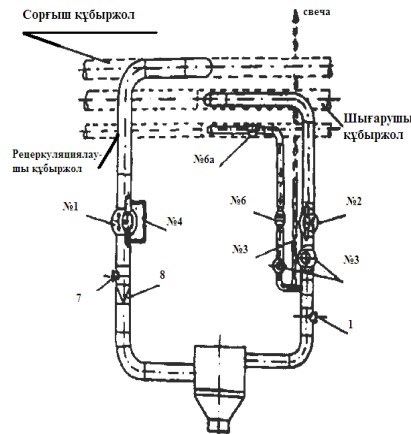
- № 3 режимдік 41– 49 шүмектердің, ал кейбір таңғыштықтарда № 3 бис (1.9-сурет) шүмектері қажет болмайды;

- режимді шүмектердегі саңылаусыздықтардан газ көп мөлшерде жоғалуы мүмкін.

Толық арынды айдағышы бар сұлбада (1.11-сурет) қосымша элементтер кездеседі, олар №6, № 6а шүмектері және кері клапандары № 1 шүмекте қысым айырымы 0,08...0,1 МПа тең жеткенде, № 1 және 2 шүмектер ашылады.



1.10-сурет. Толық арынсыз айдағыштың жұмыстық сұлбасы:
 № 1, 2, 3 бис; 4,5 – айдағыштың таңғыштық технологиялық
 шүмектері; № 41, 42, 43, 44 – режимдік клапандар; 6 –(люк) ойық;
 7 – қорғауыштар



1.11-сурет. Толық арынды айдағыштың технологиялық таңғыштық
 сұлбасы:

№ 1, 2, 4, 5, 6, 6а – айдағыштың таңғыштық технологиялық
 шүмектері; №3 – кері клапандар; 7 –ойық (люк) ; 8- қорғаушы тор

1.3.4. Газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станциядағы қосылу сұлбаларының сипаттамалары

Газ айдағыштардың және газ құбырларының біріккен жұмыс режимдерінің сипаттамаларын әдетте компрессорлық станциядан кейінгі тұрақты қысымда ($P_{\text{КСшығ}} = \text{idem}$) қарастырады, компрессорлық станцияға кірердегі қысым $P_{\text{КСкір}}$ және айдағыштың көлемдік берілім Q (млн.м³/тәул.) координаттары қарастырады. Осы айтылған координаттағы газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станциясына қосылу сұлбаларын қарастырамыз. Газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станциясына қосылуы екі тәсілмен болады; тізбектілі және параллельді. Тізбектілі қосылуды – берілген режимде газ құбыры арқылы айдалатын газ қысымын көбейту үшін, газдың массалық шығыны $G = \text{idem}$ кезде пайдаланады.

Әдетте бір газ айдағыш агрегат компрессорлық станциясы бойынша керекті газдың жоғары қысым құламасын қамтамасыздандыра алмайды. Сондықтан тізбектілі қосылу компрессорлық станциядан кейін айдалатын газ қысымын көбейту үшін қолданылады. Газ айдағыш агрегаттарда айдалатын газ қысымын өнімділіктері салмақтық өнімділік G , кг/с немесе кг/мин және көлемділік өнімділік $Q_{\text{көл}} = G/\rho$, м³/мин болып бөлінеді, мұндағы ρ газдың тығыздығы компрессорлық станцияға кірердегі күй параметрлері бойынша. Қажетті газ өнімділігін бір агрегатпен айдауға болмайтын жағдайда газ айдағыш агрегаттарды (айдағыштарды) параллельді қосу қолданылады. Бұл кезде жалпы газ ағымы екі немесе бірнеше ағымға жеке бөлінеді, әрқайсысы өздерінің жеке агрегаттарымен сығылады, содан кейін тағы бірге қосылып жалпы газ құбырына немесе газ құбырларының жүйелері беріледі. Параллельді қосылу компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттардың көлемдік өнімділігін $Q_{\text{көл}}$ арттыру үшін қолданылады. Егер де қысым және газ өнімділігі (шығыны) өзгергенде жеке тізбектілік және параллельдік газ айдағыш агрегаттардың қосылуы газ құбырының керекті өту қабілеттілігін бермейтін болса, онда бір мезетте тізбектілі – параллельді қосуларды пайдаланады. Айдағыштардың және газ құбырларының арасында өзара бір-бірімен байланысы бар. Айдағыштардың және газ құбырының

біріккен тиімді жұмыс режимдері олардың сипаттамаларының қиылысу нүктелерінде болуы мүмкін. Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттардың газ өнімділігін сығылу дәрежесінің $\epsilon_{КС} = P_{\text{шығ.КС}} / P_{\text{кір}}$ мәні жоғары болғанда, яғни $P_{\text{кір.КС}}$ мәні төмендеу болған жағдайда аламыз.

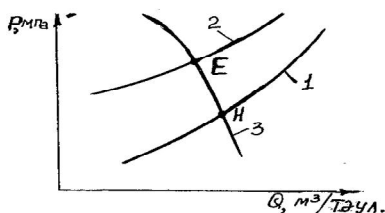
Айдағыштардың жұмыс режимінің соған байланысты газ өнімділігі аздау өзгеруін, олардың айналу жиілігін бөлікті өзгерту арқылы жетуге болады, ал жұмыс режимінің үлкен өзгеруін агрегаттарды қосу немесе ажырату кезінде көздеген мақсатқа жетуге болады.

Компрессорлық станциядағы бір айдағыштың және екі тізбектеліп қосылған айдағыштардың және газ құбыры учаскесінің біріккен сипаттамалары 1.12-суретте көрсетілген.

Компрессорлық станциядан шығатын қысым тұрақты ($P_{\text{шығ.КС}} = \text{idem}$):

Е– нүктесі екі тізбектілі жұмыс жасайтын айдағыштардың номиналдық жұмыс режимі; Н–нүктесі бір айдағыштың жұмыс режимі (бір айдағышты ажыратқандағы).

Егер газ құбырының өнімділігі едәуір төмендегенде айдағыштардың біреуін айыруға болады. (1.12-сурет, Е–нүкте). Айдағыштардың және газ құбырының бірге тиімді жұмыс режимдері олардың сипаттамаларының қиылысқан нүктелерінде (Е, Н–нүктелері) болады. Бұл кезде жоғары өнімділік компрессорлық станцияның сығылу дәрежесінің $\epsilon_{КС}$ жоғарылауында немесе айдағыштың тұрақты айдау қысымында.

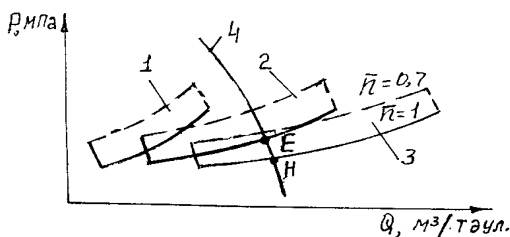


1.12-сурет. Бір (1) және екі (2) тізбектеліп қосылған айдағыштардың және газ құбыры учаскесінің (3) біріккен сипаттамалары

Газ турбины газ айдағыш агрегаттар үшін қойылатын талап, айдағыштардың жұмысын қамтамасыздандыру, айналу жиілігі 75...105 % аралығында номиналдық жиіліктен, яғни $\bar{n}_{айд} = n_{ф} / n_{ном} = 0,7 \dots 1,05$.

Осы айдағыштардың салыстырмалы айналу жиілігіне $n_{айд}$ сәйкес газ құбырының өнімділігі болып табылады. Компрессорлық станцияда табиғи газдың айдағыштары параллельді қосылғанда айырылған агрегатты резервтік агрегатпен ауыстыру қарапайым келеді, неғұрлым оларды тізбектілі қосылғанмен салыстырғанда.

Толық арынды айдағыштарды параллельді қосқанда ең қолайлы сұлба үш жұмысшы және бір резервтік агрегаттан «бір жүктік газ құбырларға» жұмыс жасайтын (1.13-сурет) газ айдағыш агрегаттар қолданылады. Бұл кезде қалған агрегаттарда жұмысшы нүкте Е айдағыштың ПЭК мәнінің төмендейтін аумағына ауысады.



1.13-сурет. Бір (1), екі (2), үш (3) параллельді қосылған айдағыштардың және газ құбыры учаскесінің (4) біріккен сипаттамалары

Компрессорлық станциядан шығатын қысым тұрақты ($P_{шығ.КС} = idem$) немесе айдау қысымының тұрақтылығы және айдағыштың әртүрлі салыстырмалы айналу жиілігінде $\bar{n}_{айд}$: Н–номиналдық режимдегі нүкте; Е – бір айдағышты ажыратқандағы жұмысшы нүкте. Компрессорлық станцияның құрамында параллельді топты айдағыштарды тізбектеп қосу технологиялық сұлбалар көбірек тараған. Бұл кезде әр топта айдағыштар тізбектеліп қосылған, ал топтардың өздері газ

құбырына параллельді қосылады. Айдағыштардың компрессорлық станциясына әрі қарай қосылу түрлерінің дамуы компрессорлық станциядағы әмбебаптық таңғыштық, айдағыштардың екі және үш тізбектеліп қосылатын параллельді топта жұмыс жасай алатын агрегаттар болып табылады.

1.4. Табиғи газ қасиеттерінің ерекшеліктері және газ айдағыш агрегаттардағы газ ағынының аэродинамикасы

1.4.1. Табиғи газдың элементарлық құрамы және сипаты

Энергетикалық қондырғылар (ГТК) және басқа өнеркәсіптер үшін, ең көп қолданылатын газ тәріздес табиғи отындары болып есептеледі. Табиғи газдың құрамы қандай жерде өндірілетін кен орнына және геологиялық қабатқа байланысты болады. Табиғи газдар негізінен үш топқа бөлінеді:

- таза газ кен орнынан алынатын газдар – құрғақ газдар, құрамы 98% дейін метаннан CH_4 тұрады;

- газды конденсатты кен орнынан алынатын газдар: олар құрғақ газдан және конденсат қоспасынан (бензиннен, лигройннан, керосиннен) тұрады;

- мұнай кен орнының ұңғыларынан мұнаймен бірге алынатын жолшыбайлы газдар, олар негізінде газдық бензинді және пропан бутандық фракциялы газ қоспасынан тұрады.

Табиғи газ негізінде метаннан CH_4 (83...98%), этаннан C_2H_6 (0,3...8%), пропаннан C_3H_8 (0,1...2%) және басқа жоғарғы көмір сутегінен (0...15%), көмір қышқыл газынан CO_2 (0...4%), азоттан N_2 (0...5%), күкірт сутектен (1...2%) тұрады.

Газ айдағыш агрегаттарын есептеуде және басқа сығымдаушы машиналар үшін табиғи газдың құрамы былай қабылданады: CH_4 – 98,6 %; C_2H_6 – 0,12%; C_3H_8 – 0,02%; бутан C_4H_{10} – 0,1%; CO_2 – 1,01%; N_2 – 0,12% көлем бойынша. Газ тәріздес отынның артықшылығына жататындар жану өнімділігіндегі күлдің және күйенің болмауы және термиялық тұрақтылығы, сондай-ақ жанған өнімділіктегі зиянды улы заттардың аздығы. Сондықтан табиғи газ – газ турбиналы қондырғылар үшін отынның идеалдық түрі болып есептеледі.

Табиғи газдың негізгі сипаттамаларына мыналар жатады: төменгі жану жылулығы немесе жылулық қабілеттілігі (төменгі жану жылулығы Q_T (кДж/кг, кДж/м³); ыстық өндірушілік $t_{\max} (^{\circ}\text{C})$; газдың толық жануына керекті теориялық ауа шығыны L_0 (кг/кг, кг/м³); газ тұрақтысы R_T (Дж/(кг·К); энтальпия немесе жылу сақтағыштық H (Дж/кг); айдалатын газдың салыстырмалы тығыздығы ауа бойынша, $\Delta_{\text{ауа}}$ – ауаның қалыпты жағдайдағы тығыздығында $\rho_{\text{ауа}}$ анықталушы, $\Delta_{\text{ауа}} = \rho_{\text{газ}} / \rho_{\text{ауа}} = 0,6...0,75$; тұтану температурасы $t_{\text{тұт}}$ ($^{\circ}\text{C}$); улылығы; қосындылардың болуы; газдың бағасы және т.б.

Газдың жану жылулығы жоғары және төменгі жану жылулықтары болып бөлінеді. Жоғары жану жылулығы заттың бірліктік мөлшерінің (кг немесе м³) толық жанғандағы бөлініп шыққан жылу мөлшері (кДж), сутегі тотыққанда болатын су буының сұйықталуын есепке ала отырып. Төменгі жану жылулығы – заттың бірліктік мөлшері (кг немесе м³) толық жанғандағы су буының сұйықталуынан бөлініп шыққан жылу мөлшері.

Әдетте есептеулерде отынның төменгі жану жылулығы пайдаланылады.

Төменде 1.1-кестеде газ тәріздес отынның қосынды қатарларының төменгі жану жылулығының сандық мәндері көрсетілген. Газды отынның жану жылулығы немесе жылулық қабілеттілігі Q_0 – отынның ең маңызды сипаттамасы, бірліктік отын (кг немесе м³) толық жанғанда қандай мөлшерде жылу бөлініп шығатынын көрсетеді.

1.1-кесте

Табиғи газдардың кейбір компоненттерінің төменгі жану жылулықтары

Отын компоненттері	Молярлық масса μ, кг/кмоль	Төменгі жану жылулығы, кДж/ м ³
Метан CH ₄	16,04	35880
Этан C ₂ H ₆	30,07	64450
Пропан C ₃ H ₈	44,09	92940
Бутан C ₄ H ₁₀	58,12	118680
Пентан C ₅ H ₁₂	75,15	146130

1.1-кестенің жалғасы

Гексан C ₆ H ₁₄	86,18	173760
Этилен C ₂ H ₄	28,054	59500
Пропен C ₃ H ₆	42,08	87740
Ацителен C ₂ H ₂	26,04	56860
Бензол C ₆ H ₆	78,11	143900
Көміртегі тотығы CO	28,01	12649
Сутегі H ₂	2,02	10798
Күкіртті сутек H ₂ S	34,08	23698

($Q_0 = 41530 \dots 49600$ кДж/кг, $Q'_0 = 33240 \dots 54000$ кДж/ кг, ал отын ретінде қарастырғанда $Q'_0 = 33 \dots 38$ МДж/м³). Табиғи газ компоненттерінің физикалық сипаттамалары 1.2-кестеде келтірілген.

1.2-кесте

Табиғи газ компоненттерінің физикалық сипаттамалары

Газ құрамының компоненті	Формула	Тығыздығы, кг/м ³	Ауаға қатынасы бойынша тығыздығы, Δ_{ava}	Сұйық температурасы, °C
Метан	CH ₄	0,72	0,55	-161,5
Этан	C ₂ H ₆	1,36	1,05	-89
Пропан	C ₃ H ₈	2,02	1,55	-42
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,70	2,08	-1
Пентан	C ₅ H ₁₂	3,22	2,50	+36
Гексан	C ₆ H ₁₄	-	3,00	+68
Этилен	C ₂ H ₄	1,26	0,98	-104
Пропен	C ₃ H ₆	1,92	1,48	-48
Бутен	C ₄ H ₈	2,60	2,00	-6
Пентен	C ₅ H ₁₀	3,13	-	-
Ацителен	C ₂ H ₂	1,17	0,31	-84
Бензол	C ₆ H ₆	3,48	-	-
Көміртегі тотығы	CO	1,25	0,97	-192
Көмір қышқыл газы	CO ₂	1,98	1,53	-78
Күкірт сутек	H ₂ S	1,54	1,19	-46
Азот	N ₂	1,25	0,97	-196
Оттегі	O ₂	1,43	1,10	-186
Сутегі	H ₂	0,09	0,07	-253
Су буы	H ₂ O	0,77	0,59	+100

1.4.2. Табиғи газдың жану жылулығы және ауаның артық еселігі

Тұтыну температурасы $t_{\max}$ отынның жану шартын сипаттайды және газды тиімді жаққандағы әдістерін игеруде еске алынады. Газдың ыстық өндірушісі $t_{\max}$ ең жоғары температураны анықтайды, ол отын толық жанғанда алынады, бұл кезде бөлінген жылу жану өнімділігін қыздыруға жұмсалады. Газды ауалы қоспасының жарылып тұтану қауіпті көзінің пайда болуын болдырмау компрессор станцияларындағы қызмет көрсетуші құрамдардың негізгі мақсаты. Мысалы, метанды ауалы қоспаның өздігінен тұтануы 700°C деңгейінде болады. Әдетте газ кен орындарда метанның құрамы 92...98% болады, 0.1 МПа-да тұрған газ ауалы қоспаның жарылып тұтану кезінде оның қысымы шамамен 0,80 МПа-ға дейін өседі. Температура 20°C -дағы және қысым 0,1 МПа-ғы ауалы газ қоспасының жарылу шектері және аралықтары төменде 1.3-кесте көрсетілген.

1.3-кесте

Температура 20°C -да және қысымы 0,1 МПа-ғы ауалы газ қоспаларының жарылу шектері және аралықтары

Газ түрлері	Жарылу шектері, % көлем бойынша		Жарылу аралығы, % көлем бойынша
	Төменгі	Жоғарғы	
Ацителен	2,3	82,0	79,7
Бутан	1,5	8,5	7,0
Бутелен	1,7	9,0	7,3
Сутегі	4,0	75,0	71,0
Метан	5,0	15,0	10,0
Мұнай кәсіпшілігіндегі газ	4,0	14,0	10,0
Көміртегі тотығы	12,5	75,0	62,5
Табиғи газ	5,0	15,0	10,0
Пропан	2,0	9,5	7,5
Пропилен	2,2	9,7	7,5
Этан	3,0	14,0	11,0
Этилен	3,0	33,3	30,3

1 м³ газ толық жануға керекті теориялық меншікті ауа шығынын (кг/м³) мына теңдеумен анықтауға болады:

$$L'_o = \rho_{\text{ауа}} \cdot V_o, \quad (1.9)$$

мұндағы V_o (м³) 1м³ газ тәрізді отынды жағуға қажетті теориялық ауа шығынын төмендегі формуламен есептеуге болады:

$$V_o = Q_T / 3,8, \quad (1.10)$$

мұндағы 3,8 – ауа шығыны (м³) 1 МДж отынның жану жылулығына қажет.

Бұдан басқа, теориялық ауа шығыны L_o (кг), (кг/кг)-ғы немесе (кг), (кг/м³)-ғы немесе 1м³ газ тәріздес отынның жануы үшін қажетті ауаны табуда отынның меншікті төменгі жану жылулығын Q_T (МДж/кг) немесе Q_T (МДж/м³) 2,94-ке бөлу арқылы табуға болады

$$L_o = Q_T / 2,94 \text{ және } L'_o = Q_T / 2,94, \quad (1.11)$$

мұндағы 2,94 – ауа шығыны (кг), отынның МДж жану жылулығына керекті, (кг/МДж).

$$L'_o = 10 \dots 15,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$L_o = 14 \dots 16 \text{ кг/кг.}$$

Нақты ауа мөлшері шамасының $L_o^{\text{нак}}$ ($V_o^{\text{нак}}$) теориялық қажетті ауа мөлшерінің шамасына $L_o^{\text{теор}}$ ($V_o^{\text{теор}}$) қатынасын, ауаның артық коэффициенті деп атайды:

$$A = L_o^{\text{нак}} / L_o^{\text{теор}} \text{ немесе } \alpha = V_o^{\text{нак}} / V_o^{\text{теор}} \quad (1.12)$$

Ауаның артық коэффициентінің α шамасы, отынның түріне және оны жағу әдісіне байланысты болады, әдетте табиғи газдарды жағуда $\alpha = 1,15 \dots 1,20$.

Әртүрлі отындардың компоненттерінің төменгі жану жылулығы Q_o төмендегідей:

$$Q_o(\text{CH}_4) = 50000 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_o(\text{бензин}) = 44500 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_o(\text{H}_2) = 120000 \text{ кДж/кг.}$$

Табиғи газдың – газ тұрақтысы R_{Γ} оның орташа молярлық массасының $M_{\Gamma, \text{орт}}$ мәні бойынша анықталады:

$$R_{\Gamma} = \bar{R} / M_{\Gamma, \text{орт}} = 8314 / M_{\Gamma, \text{орт}}, \quad (1.13)$$

немесе ауа бойынша газдың салыстырмалы тығыздығы арқылы

$$\rho_{\text{газ}} = \rho_{\text{ауа}} / \Delta_{\text{ауа}}, \quad (1.14)$$

Ауа бойынша отынның салыстырмалы тығыздығы $\Delta_{\text{ауа}}$ оның химиялық құрамына байланысты және төмендегі қатынас (1.15) бойынша анықтауға болады және ол отынның жылулық қабілеттілігін сипаттайды;

$$\Delta_{\text{ауа}} = \rho_{\Gamma} / \rho_{\text{ауа}}, \quad (1.15)$$

0 °C-де және атмосфералық қысымда газдың тығыздығы ρ_{Γ} оның молярлық μ массасы бойынша анықталуы мүмкін:

$$\rho_{\Gamma} = \mu / 22.41, \quad (1.16)$$

мұндағы 22,41 кез келген газдың бір киломоінің көлемі 0 °C-дегі және атмосфералық қысымдағы, м³.

Энтальпия отынның жылуды сіңіру қабілеттілігін сипаттайды; ол сондай-ақ, отынның температурасын өзгертуге жұмсалатын жылудың мөлшерлік шамасын көрсетеді. Газдың улылығы тұрмыстық отындық ретінде пайдаланудағы мүмкіншілігін және газ құбырларында техникалық қауіпсіздікті қанағаттандыратын жағдайға сәйкес болуын талап етеді.

Табиғи газдарда күкіртік қоспалардың болуы газды тазартуды талап етеді, газдың коммуникацияларда, желілерде және қоршаған ауаның ластануын болдырмау үшін.

Мұнай-газ кәсіпшілігіндегі және халық шаруашылығындағы салаларда кең пайдалануда газдың бағасы – ең маңызды сипаттамасы.

Магистральдық газ құбырларындағы компрессорлық станцияларда негізінен газ турбиналы қондырғылар

пайдаланылады, олар табиғи айдалатын газбен жұмыс жасайды және олардың П.Ә.К.-ті 24...30 % шамада болады, ал компрессорлық станцияның өзіне қажетті газ шығыны жалпы тасымалданатын (айдалатын) газдың 8...10 % құрайды.

Табиғи газ – газ турбиналы қондырғылар үшін отын ретінде ең ыңғайлы, өйткені жоғары жану жылулығына ие, ал оның өнімділігінде қатты бөлшектер, улылық және активтік заттар болмайды.

Өртүрлі нақты газдар сияқты табиғи газдар үшін де күй теңдеуін мынадай түрде пайдалануға болады:

$$P_r = \rho_r \cdot Z \cdot R_r \cdot T_r \quad (1.17)$$

мұндағы Z – сығылу коэффициенті, өзгермелі шама – себебі, ол қысымға және температураға тәуелді.

Егер газдың қысымы неғұрлым көп және оның температурасы төмен болса, нақты газдардың қасиеті идеал газдардан сонша ауысады, яғни Z -тің шамасы төмендейді. Нормалдық шарттарда $Z=1$. Сығылу коэффициенті Z номограмма бойынша анықталады [1,7,9].

1.4.3. Газ айдағыш агрегаттардағы газ ағынының аэродинамикасы

Табиғи газдың дымқылдығы гидраттардың (көмірсутегінің және судың молекулалары кристалдық құрылғылары) пайда болуына себепкер болады. Гидраттар жергілікті ағын жылдамдығының көбеюіне байланысты ортадан тепкіш газ айдағыштардың күре жолының қимасына барып түсуі мүмкін. Гидраттардың пайда болуы – газдардың салқындануына және олардың қысымының шықтық нүктеге дейін төмендеуіне мүмкіндік жасайды. Осыған орай табиғи газ ортадан тепкіш газ айдағыштарға барғанша шаң-тозаң бөліктерінен және сұйық тамшыларынан мұқият тазартылуы қажет. Ортадан тепкіш газ айдағыштардағы ағым аэродинамикасының ерекшеліктері жөнінде төмендегілерді атап өтуге болады. Жұмыстық доңғалақтың айналымына кіре берісте сиретулік пайда болады.

Қалақшалардың аралық кеңістігіндегі келген газ ортадан тепкіш күштің әсерінен бірқалыпты жұмыс доңғалағының иілген арнасында қозғалады. Ортадан тепкіш газ айдағыштардағы газ қозғалысының абсолюттік жылдамдығын құрастырушы үш геометриялық қосындылар ретінде қарастыруға болады: осьтік G_a , радиалдық G_r және шеңберлік G_u .

Газ түйірлерінің газ айдағыштың жұмыстық доңғалақтарының элементтеріндегі қозғалу жылдамдығын салыстырмалы жылдамдық дейді және оны w -деп белгілейді. Мұны да сондай-ақ құрастырушы қосындыларға жатқызуға болады. Радиалдық құрастырушы жылдамдығының G_r шеңберлік жылдамдыққа қатынасын шығын коэффициенті дейді.

Жұмыстық доңғалақтың радиалдық бөлігі үшін ($\varphi = G_r/U$; $\varphi_r = C_{2r}/U_2$). Жұмыстық доңғалақ элементтерінің қозғалу жылдамдығы ауыспалы келеді. Ортадан тепкіш газ айдағыштың жұмыстық доңғалағы арқылы өтетін, жұмысшы дененің өлшемдік массасына қозғалыс теңдеудің (Эйлер теңдеуін) мынадай түрін пайдаланады:

$$H_{ag} = U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u} \text{ немесе } (\Delta P = \rho (U_2 C_{2u} - U_1 C_{1u})).$$

Сатыдағы энергияның бір бөлігінің қысымы потенциалдық энергияға ауысқан, барлық энергияға жұмыстық доңғалақтағы ағымдағы қатынасын реактивті дәреже дейді. Ортадан тепкіш газ айдағыштарда өте жоғары реактивтік дәреже қолданылады, яғни біртоғалы арында. Қысымдардың қатынасын газ айдағыштың сығу дәрежесі дейді. ($E_{айд} = P_{2a}/P_{1a}$)

1.5. Компрессорлық станцияның газ құбырлары мен газ айдағыштарының арасындағы өзара байланыстар

1.5.1. Компрессорлық станциядағы газ турбиналы газ айдағыштардың жұмыс режимдері

Компрессорлық станциялар негізінен қысымды көбейту және газды магистральдық газ құбырлары бойынша айдау үшін арналған. Олар магистральдық газ құбырына кіретін құрылыс жинақтарының басқарушы элементтерінің қызметін атқарды. Іс жүзінде компрессорлық станциялардың жұмыс параметрлері газ құбырларының жұмыс режимін анықтайды.

Қазіргі уақытта газ кәсіпшілігіндегі магистральды газ құбырларында газ айдағыш агрегаттар ретінде ортадан тепкіш газ айдағыштар қолданылады, бұларды жетектеушілер ретінде газ турбиналы қондырғылар (ГТК) немесе электрқозғалтқыштары (ЭК) пайдаланады. Сонымен бірге, поршеньді іштен жану қозғалтқыштары, газмотокомпрессорлар газды жерастында сақтайтын станцияларда қолданылады. Әдетте ұңғыдан шығатын табиғи газдың қабаттық қысымы 10 МПа дейін және одан да көбірек болады. Бірақ та салыстырмалы арақашықтықта газ пайдаланатын орынға газ құбыр арқылы осы көрсетілген қысым арқылы тасымалданады. Дегенмен көптеген ірі газ кен орындары өндірістік және газды пайдаланылатын орындардан алыс үлкен арақашықтықтарда орналасады, 1000 шақырым және одан да көбіректе. Сондықтан тасымалданатын газды үлкенірек арақашықтықтағыларға алынатын қабаттық қысыммен жеткізуге болмайды, себебі газ қысымының төмендеуіне және газ өткізуші құбырлардың өткізу қабілеттілігінің шектелуіне байланысты. Осыған орай, газ құбырының өткізушілік қабілеттілігін және тасымалданатын газ қысымын көбейту, магистральдық газ құбырларында аралық газ айдағыштарды (компрессорларды) орналастыру арқылы іске асады. Магистральдық газ құбырлары үшін тиімділік техника-экономикалық көрсеткіштері бойынша ұтымдылыққа жету, ол аралық газ айдағыш компрессорлы станциялардың аралық орналасу қашықтығы 100...150 км болғанда тиімді.

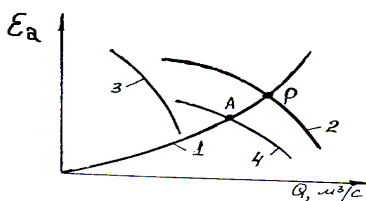
Бұл кезде газ құбырының өткізу қабілеттілігі жоғарылаумен бірге, тасымалданатын газдың бағасы төмендейді, бір мезетте газды сығу дәрежесі және компрессорлық станциялардың аралық қашықтары азаяды.

Қазіргі уақытта магистральды газ құбырларының ірі газ айдағыш станциялары электрқозғалтқышты немесе газ турбиналы жетекті ортадан тепкіш газ айдағыштармен жабдықталады. Негізінен компрессорлы станцияларда көп қолданылатыны газ турбиналы қозғалтқыштар. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттарының энергожетектеушілік түрін тандағанда газ құбырының жұмыс жасау режимін еске алу керек. Газ құбырының жұмыс режиміне әсер етуші негізгі фактор, ол газ пайдаланудың бірқалыпсыздық болуы. Газ пайдаланудағы ең үлкен

бірқалыпсыздық газды тұрмыстық қажетке, өнеркәсіп орындарына және жылытуға бергенде, олардың пайдаланылуы сыртқы қоршаған ауаның температурасына тікелей байланыстылығы. Газ құбырының үнемді жұмыс істеуін қамтамасыздандыру үшін ауыспалы режимде компрессор станциялар екі немесе үш сатылы газ айдағыш агрегаттармен жабдықталады, бұл кезде тізбектілі жұмыс істейтін газ айдағыш агрегаттар керекті есептемелік газдың сығу дәрежесін және сығылатын газ қысымын қамтамасыздандырады. Әдетте, тізбекті қосылған газ айдағыштардың жұмысына, әсіресе үлкен өнімділіктерде газ айдағыш агрегаттар параллель қосылады.

1.5.2. Компрессорлық станцияның және газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режимдерінің біріккен сипаттамалары

Магистральдық газ құбыры және компрессорлық станциялар бірыңғай гидравликалық жүйе болып келеді. Берілген газдың өнімділігін реттеу газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режимі компрессорлық станциядағы газ құбырының жалпы учаскесімен және ортадан тепкіш газ айдағыштардың арасындағы сипаттамаларымен анықталады. Төменде 1.14-суретте газ айдағыш агрегаттардың және газ құбырының қосылған (біріккен) сипаттамасы көрсетілген.



1.14-сурет. Газ айдағыш агрегаттың (ГАА) және газ құбырының біріккен сипаттамалары:

1 – газ құбыры учаскесінің сипаттамасы; 2 – екі газ айдағыш агрегаттардың қосылған сипаттамасы; 3 – бір толық

арынды ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың сипаттамасы (параллельді қосылған); 4 – бір толық шығынды ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттың сипаттамасы (параллельді қосылған); P – газ құбырының есептелген жұмыс режимінің нүктесі; A – газ құбырының толық өткізбеудегі қабілеттілігінің режим нүктесі, бір толық шығынды ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттарының жұмысын қамтамасыздандырады

Газ айдағыш агрегаттардың керекті газ берілімін екі параллель қосылған газ айдағыштарымен іске асыруға болатынын осы суреттен көреміз. Компрессорлық станцияның толық сығылу дәрежесінде (толық арынды) немесе екі газ айдағышпен тізбектіліп қосылғанда (толық шығынды) қысымның көбейгенін көреміз. Сол себепті аздау мөлшердегі газды реттеу параллельді қосқандағы газ айдағыш агрегатта олардың біреуін айырғанда кейбір қиындыққа әкеліп соғады. Егер бір жіптілік газ құбырында үш және одан көбірек толық арындылық ортадан тепкіш газ айдағыштар жұмыс істесе, онда көрсетілген жағдай жақсарады немесе егер ортадан тепкіш газ айдағыштарды реттеу, оларды айыру арқылы жүрсе екі және одан көбірек жіптілік компрессорлық станциялар арқылы өткізіледі. Толық шығынды газ айдағыш агрегаттарды тізбектілі қосқанда, олардың біреуін айырғанда газ құбырының өткізгіштік қабілеттілігі және айдағыштың өткізуші бөлігі келісімділікпен сақталады. Толық арындылық газ айдағыш агрегаттарды параллельді қосқанда олардың біреуін айырғаннан кейін, айдағыштың өткізуші бөлігі толық газ шығынын жібереді, бірақ бұл айдағыштың п.э.к.-ті η_a төмен болады.

Жалпы газ құбырының толықсыз өткізу қабілеттілігінде, газ турбиналы қондырғының қажетті қуаты біраз төмендейді, себебі қуат газдың массалық шығынының кубасына пропорционалды $G^3_{г}$. Сол себепті аздау мөлшердегі газды реттеу параллельді қосқандағы газ айдағыш агрегатта олардың біреуін айырғанда кейбір қиындыққа әкеліп соғады. Егер бір жіптілік газ құбырында үш және одан көбірек толық арындылық ортадан тепкіш газ айдағыштар жұмыс істесе, онда көрсетілген жағдай жақсарады немесе егер ортадан тепкіш газ айдағыштарды реттеу оларды айыру арқылы жүрсе екі және одан көбірек жіптілік компрессорлық станциялар арқылы өткізіледі.

Тізбектілі қосылған ортадан тепкіш газ айдағыштардың негізгі кемшілігі – егер біреуі кенеттен тоқтағанда (екіншісін) тез арада рециркуляциялаушы сақинаға ауыстыру керек, әйтпесе ол желісінің кедергісін жеңе алмайды және ол қорғаушы жүйесінен айырылады. Толық шығындылық газ айдағыш агрегаттардың негізгі кемшілігі – құбырлық таңғыштық жүйенің күрделілігі.

Сондықтан көптеген компрессор станциялар параллельді қосылған толық арындылы газ айдағыш агрегаттармен жабдықталған, себебі металл сыйымдылығы және компрессорлы станциялардағы құрылғылардың еңбек сыйымдылығы бұл кезде біраз төмен болады.

1.5.3. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардағы тұрақсыздық режимдер және помпаж

Газ айдағыш агрегаттардың жұмысы компрессор станциялардағы газ құбырларының жұмыс режимдеріне және агрегаттардағы болатын помпаждық құбылыстарға байланысты болады.

Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың жұмысы тұрақсыздық өзгермелі режимдерде (процестерде) болады, бұл агрегаттың жұмыстық доңғалағының шеңберіндегі өткізгіш арналардың негізінде газ ағынының біркелкі еместігінен пайда болады, сондай-ақ олар айдағыштың жұмыстық доңғалақтарындағы диффузорында, енгізуші және шығарушы келте құбырларда болады. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың тұрақсыздық режимдері (помпаж) айдағыштың кіре берісіндегі және шыға берісіндегі кедергілерінің көбеюінен, мысалы айдағышты қорғаушы тордың бітелуінен, сондай-ақ екі тізбектілі жұмыс айдағыштардың біреуі кенет аппараттық тоқтауынан болуы мүмкін.

Газ айдағыш агрегаттардағы помпаждық құбылыс айдағыш арқылы газ шығынының, айдаушы тізбегіндегі газ қысымының, сондай-ақ агрегаттағы дірілділіктің кезеңді өзгеруінде пайда болады, бұл кезде пайдаланушы қуат, төменгі қысымды турбинаның (ТҚТ) айналу жиілігі, жоғары қысымды турбинаның (ЖҚТ) алдындағы газдың температурасы өзгереді. Помпаж газ айдағыш агрегаттардың және газ турбинасы түзілімдерінің (узелдерінің) сынуын және тез істен шығуын болдыруы мүмкін.

Газ айдағыш агрегаттарды помпаждан шығару айдағыш арқылы өтетін газ ағынын көбейту бойынша жүзеге асырылады, ол үшін әдетте компрессорлық станцияларда арнаулы газ шығынын реттеуші шүмек (кран) қолданылады. Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттарды помпаждан қорғау үшін,

арнаулы сигнализаторлар пайдаланылады, айдағыш конфузорындағы қысымының құламалығын помпаждық шекаралық сызықтан алдын ала алыста бақылайтын. Помпаждық жағдайда газ шығыны помпаждық шекарадан 10%-тен артық беріледі. Сонымен қатар, компрессорлық станциялардағы газ турбины қондырғыларда помпажды болдырмау үшін алдын ала газ турбины қондырғыдағы компрессордан аз уақытта ауа берілісін тоқтататын автоматты құрылғы қарастырылған, олар отындық газдың берілуін және газ айдағыш агрегаттың айналу жиілігін азайтатын.

Әдетте газ айдағыш агрегаттың сырттай помпажы үзілді-кесілді шуммен, күшті дірілдеумен, айдағыштың мерзімді теңселуімен байқауға болады. Жалпы помпаждық құбылыстың пайда болуы, газ айдағыш агрегаттардың кіре берісіндегі және шыға берісіндегі айналатын газ қысымының тұрақсыздық өзгеруі болып табылады. Осыған орай қысымның помпаждық пульсациялық жиілігінің өзгеруін f құбырдың газ шығарардағы қимасының көлеміне $V_{\text{шығ}}$ тәуелділігін төмендегі теңдеумен анықтауға болады:

$$f = \frac{A}{\sqrt{V_{\text{шығ}}}}, \text{ Гц} \quad (1.18)$$

мұндағы $V_{\text{шығ}}$ – шығардағы келте құбырдың (айдағышпен) және дроссельдің (шығардағы құбырдың) арасындағы көлем, м^3 ; A – газ айдағыштың тұрақтылығы газ айдағыш агрегаттың айналу жиілігіне тәуелді.

2. ТАБИҒИ ГАЗДЫ АЙДАҒЫШТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

2.1. Мұнай және газ кәсіпшілігінде қолданылатын газ айдағыштардың түрлері мен сипаттамалары

Компрессорлық станцияларда қолданылатын негізгі газ турбиналы газ айдағыштардың түрлері мен сипаттамалары төменде 2.1-кестеде көрсетілген.

2.1-кесте

Ортадан тепкіш газ айдағыштардың параметрлері

ОТА-дың түрлері	Номиналдық айналу жиілігі ОТА-тың, айн/мин	Көлемдік беріс, м³/мин	Кілте құбырдан шығардағы айдағыштың соңғы қысымы (соңғы топтық агрегаттан кейінгі), МПа	Айдағыштың сығу дәрежесі, ε_a	ГТҚ-лы ГЛА-тың түрі	ГТҚ-ның ПӘК-ті, %	ГТҚ-ның номиналдық қуаты, МВт
370-14-1	5300	289	5,66	1,25	ГТ-750-6	27	6/6,5
H-300-1,23	6150	260	5,6	1,27	ГТ-6-750	24	6,0
H-16-56 (H-80-1,25)	4600	800	5,6	1,25	ГТН-6	24	6,0
H-196-1,45	8200	196	5,6	1,45	ГПА-Ц-6,3	24	6,3
520-12-1	5000	425	5,6	1,25	ГТК-10-2	29	10,0
НГ-280-9	5000	486	5,6	1,2	ГТН-9-750	19	10,0
370-16-1	4800	350	7,35	1,14	ГТ-750-6	27	6/6,5
260-13-1	4800	350	7,35	1,17	ГТ-5	26	4,4
370-18-1	4600	370	7,6	1,23	ГТ-750-6	27	6/6,5
H-16-56 (H-800-1,25)	4600	800	5,6	1,25	ГТН-6	24	6,0
H-16-75	4600	600	7,5	1,25	ГТН-16	25	16,0
H-16-76	3700	600	7,5	1,45	ГТН-16	29	16,0
650-21-1	4800	640	7,6	1,45	ГТН-25	28	25,0
820-21-1	3700	820	5,6	1,45	ГТК-16	25	16,0
H-650-21	3700	532	7,6	1,44	ГТН-25	28	25,0
370-18-1	4800	370	7,5	1,23	ГТК10-2	28	10,0
Нуово-Пуньон (PCL-802/224)	6200	219	7,5	1,51	ГТН-10Н	26	10,0
Нуово-Пуньон (PCL-1002/40)	4600	572	7,5	1,51	ГТН-25И	28	25,0
Купер-Бессемер (280-30)	6200	290	5,6	1,51	Коберра-182	28	11,9/12,9
Ингер ОЛРЕНД (СДР224)	6200	219	7,5	1,51			
C-1688-564	20400	22	12,5	3,1			
C-3044-30	15700	70	5	3,2			

Келешектегі газ айдағыш агрегаттар үшін қолданылатын жаңа жобалаудағы газ турбины қондырғылардың көрсеткіштері 2.2-кестеде көрсетілген.

2.2- кесте

Газ турбины қондырғылардың негізгі көрсеткіштері

ГАА-ның маркасы	ГТК-ның маркасы	ГТК-ның типі	Қуат, МВт	ПӘК, %	Турбинаның алдындағы газдың темп-ратурасы	Компрессордегі қысымның сығылу дәрежесі
ГПА-2,5	ГТГ-2,5	Судалық	2,5	0,27	939	13,0
ГПУ-6	ДГ-71	Судалық	6,3	0,305	1022	13,4
ГПА-Ц-6,3А	Д-336	Авиациялық	6,3	0,30	1007	15,9
ГТН-6У	ГТН-6У	Өнеркәсіптік	6,3	0,305	920	12,0
ГПА-Ц-6,3Б	НК-14СТ	Авиациялық	8,0	0,30	1047	10,5
ГПУ-10А	ДН-70	Судалық	10,0	0,35	1120	17,0
ГПА-12-“УРАЛ”	ПС-90	Авиациялық	12,0	0,34	1080	15,8
ГПА-Ц-16С	ДГ-90	Судалық	16,0	0,34	1065	18,8
ГПА-Ц-16Л	АЛ-31СТ	Авиациялық	16,0	0,337	1167	18,1
ГПА-Ц-16А	НК-38СТ	Авиациялық	16,0	0,368	1183	25,9
ГТНР-16	-	Өнеркәсіптік	16,0	0,33	940	7,0
ГТН-25-1	2Н-25-76-1,44	Өнеркәсіптік	25,0	0,31	1090	13,0
ГПА-Ц-25	НК-36СТ	Авиациялық	25,0	0,345	1147	23,1
ГПУ-25	ДН-80	Судалық	25,0	0,35	1220	21,8
ГТН-16М-1	2Н-16-76	Өнеркәсіптік	16,8	0,31	920	11,5
ГПА-6ДКС	МС-8П		6,0	0,262		7,45
ГПА-10ДКС	МС-8П		10,0	0,34		12,3
ГПА-16ДКС	МС-8П		16,0	0,363		7,45

Жоғарыдағы кестелерде көрсетілген газ айдағыш агрегаттардың массалары және меншікті отын шығындары, басқа қолданылып жүрген газ айдағыш агрегаттармен салыстырғанда, аз келеді. Сонымен бірге, олардың ПӘК-тері де жоғары болады.

Олар қазіргі және жаңадан тұрғызылатын тізбекті компрессорлық станцияларын жабдықтау үшін арналған, әсіресе жерасты қысымының азаюына және табиғи газды магистральды газ құбыры арқылы тасымалдауда, газ қысымының қасиетті деңгейін ұстап тұру үшін қолданылады.

Газ айдағыш агрегаттардың жетектері авиациялық және судолық негізінде жасалған. Отандық немесе шетелдік ортадан тепкіш газ айдағыштар мен газ турбиналық қондырғылар қолданылады.

Газ айдағыш агрегаттардың жаңа буынды түрлерінің эксплуатациялық көрсеткіш деңгейі өте жоғары, үнемділік деңгейі (ПӘК-ті 31...36% ол агрегат қуаттылығына байланысты) жұмыс істеу сенімділігі жоғары істен шығу мерзімі 3,5 мың сағат жөндеу аралық қор деңгейі 20...25 мың сағат.

2.1.1. Ортадан тепкіш айдағыштардың (ОТА) түрлері және сипаттамалары

Табиғи газды – газ құбырлары арқылы айдаушы ортадан тепкіш қалақты компрессорлы машиналар болып келеді, олардың газды сығу дәрежесінің қатынасы $\epsilon_{\text{айд}} = P_{\text{шығ}} / P_{\text{кіру}} = 1,25 \dots 1,5$ тең және оларда табиғи газды салқындатушы арнаулы құрылғылар болмайды. Табиғи газды құбырлармен тасымалдау үшін осьті және тангенциалды ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттар (ОТА) қолданылады.

Барлық газ айдағыштарды екі классқа бөлуге болады; толық арынсыз (бір сатылы) және толық арынды (екі сатылы). Егер сығымдау дәрежесі $\epsilon_{\text{айд}} = 1,2 \dots 1,4$ болса, онда газ айдағыш агрегаттар бір сатылық болып келеді. Толық арынды газ айдағыш агрегаттардың сығымдау дәрежесі $\epsilon_{\text{айд}} = 1,45 \dots 1,51$. Егер $\epsilon_{\text{айд}} > 1,4$ болса екі сатылық, ал үлкен сығымдау дәрежесінде үш сатылық немесе көп сатылық болады.

Табиғи газды сығымдауға дейінгі компрессорлы станциялар үшін қолданылатын газ айдағыштардың негізгі техникалық сипаттамалары 2.3-кестеде келтірілген. Бұл газ айдағыш агрегаттар газдың қабаттық энергиясының (қысымының) таусылуында өндірілетін шикі газдың берілетін қысымын жоғары ұстап тұру үшін, қазіргі және жаңадан пайдаланылатын агрегаттар үшін қолданылады.

2.3-кесте

Сығымдауға дейінгі компрессорлылық станциялардағы қолданылатын газ айдағыш агрегаттардың негізгі техникалық сипаттамалары

Негізгі техникалық сипаттамалар	ГПА-тың түрлері (маркасы)		
	ГПА-6ДКС	ГПА-10ДКС	ГПА-16ДКС
Номиналдық қуат, МВт	6	10	16
Компрессордың қысымы, МПа	7,45	12,3	7,45
Айдағыштың сығылу дәрежесі	1,1...1,4	1,25...1,3	1,45...1,53
Күштілі турбинаның айналыс жиілігі, айн/мин	7000	9000	5300
ГТҚ-ның тиімді ПӘК-ті	0,262	0,34	0,363
Компрессордың политроптық ПӘК-ті	0,8	0,78...0,83	0,78...0,83
Газ қысымы (max), МПа			
Іске қосушы	0,6	0,6	0,6
отынды	1,8	3,0	3,2

Кестеде келтірілген газ айдағыштар тізбектілі компрессорлық станцияларда қолданылады. Бұлар магистральды газ құбыры бойынша табиғи газды тасымалдаудағы, қазіргі және жаңа салынатын тізбектілі компрессорлық станциялардың агрегаттарына арналған. Мұндағы газ айдағыш агрегаттарда отандық және шетелдік ортадан тепкіш компрессорлары пайдаланылады. Энергожетектеушілік ретінде авиациялық типті ПС–90, Д–30 және т.б. қозғалтқыш ретінде негізінен газ турбиналы қондырғылар қолданылады.

Тізбектілі компрессорлық станциялардағы қолданылатын газ айдағыш агрегаттардың негізгі техникалық сипаттамалары

Негізгі техникалық сипаттамалар	ГПА-тың түрлері (маркасы)			
	ГПА-6,3	ГПА-12	ГПА-16	ГПА-25
Номиналдық қуат, МВт	6,3	12	16	25
Компрессордың қысымы, МПа	5,49	5,45...9,61	5,45...8,33	7,45
Айдағыштың сығылу дәрежесі	1,44	1,32...1,7	1,44...1,61	1,37...1,5
Компрессордың политроптық ПЭК-ті	0,84	0,85...0,86	0,85...0,86	0,85...0,86
Күштік турбинаның айналыс жиілігі, айн/мин	8200	6500	5300	5000
ГТҚ-ның тиімді ПЭК-ті	0,30	0,34	0,363	0,395
Газ қысымы (max), МПа				
Іске қосушы	0,249...0,49	0,6	0,6	0,6
отынды	0,249...0,49	3,0	3,2	4,5

Жоғарыда көрсетілген газ турбины агрегаттардан (ГТА) басқа, тиімділігі жоғары газ турбины агрегаттар ГТА–6РМ, Ил–62М, Ту–154М және Ил–76 ұшақтарында қолданылатын Д–30К4/КП қозғалтқыштар базасында жиналады.

Әдетте магистральды газ құбырларының трассадағы орнатылған тізбектілі компрессорлы станцияларында сығымдау дәрежесі $\epsilon_{\text{айд}}=1,3...1,6$ -тең болады. Қазіргі кезде магистральды газ құбырларындағы сығымдаудың көбірек тараған түрі $\epsilon_{\text{айд}}=1,4...1,45$. Осындай үлкен сығылу дәрежесін қамтамасыздандыру үшін, бір сатылы екі тізбектеліп қосылған газ айдағыш агрегаттары немесе екі сатылы параллельді қосылып жалғанған түрлері қолданылады.

Қазіргі кездегі магистральды газ құбырлары үшін стандарттық қысымдар 5,5 және 7,5 МПа болып есептелінеді. Бірақ бастапқы магистральды газ құбырларында (сығымдаушы КС) табиғи газ айдағыштардың қысымы 4,1 және 2,4 МПа-дан аз болмауы керек. Біздің елдің газ құбырларында негізінде қолданылатындар Неваның машинажасау зауытының (НМЗ), Свердловскі қаласының (Екатеринбургтің) турбомотор зауытының (ТМЗ), Сумскінің машинажасау өндіріс бірлестігінің (МӨБ) газ айдағыш агрегаттары. Бірінші газ айдағыштар (НМЗ) 280 типті электрқозғалтқышты және газ турбиналы қондырғылы жетектілі 4000 кВт қуаттылықтағы айдағыштар болып саналады. Газ құбырларында кең қолданылып жүрген айдағыштардың түрлері 260, 370, 520 типтегілер Неваның машинажасау зауытынан шығарылады.

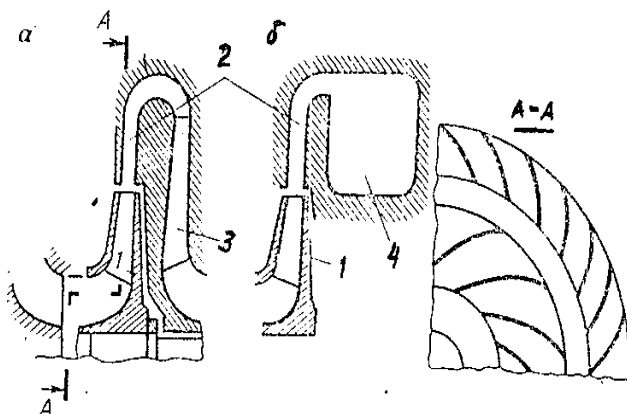
Бұлар газ турбиналы қондырғының күштілі турбинасынан тікелей жетектеледі және олар 5,5 Мпа және 7,5 МПа қысымдарға есептелген сонымен қатар, Неваның машинажасау зауытында ГТК – 10, ГТН – 25 газ айдағыш агрегаттар үшін толық арындылы екі сатылық және ТМЗ-ның бірінші газ айдағышы Н-300-1,23 ГТ-6-750-лік газ турбиналы қондырғы үшін 6000 кВт қуатты айдағыштары жасалған. Тізбектілі және сығымдаушылы компрессорлық станцияның айдағыштары үшін, бірнеше түрдегі екі сатылы газ айдағыш агрегаттар қуаттылығы 16000 КВт, ГТН-16 үшін қысым 7,5 МПа және сығылу дәрежесі $\varepsilon_{\text{айд}} = 1,45 \dots 1,50$ ТМЗ-да газ айдағыш агрегаттар жасалады. Сумскінің машинажасау өндіріс бірлестігінің газ айдағыш агрегаттары екі сатылы типті газ айдағыш агрегаттар авиациялық жетектеушілі НК-12 СТ (қуаты 16000 КВт) 5,5 және 7,5 МПа қысымдар үшін жасалады. Газ кәсіпшілігінің магистральды газ құбырларында шетелдік газ айдағыш агрегаттардың ішінде көп қолданылатыны төмендегі фирмалардың өнімдері: «Кларк», «Дрессер Индастриз», «Купер Энерджи Сервисиз», «Интерсолл-РЭНД» (АҚШ), «Нуово-Пиньонс» (Италия).

2.2. Табиғи газ айдағыштардың құрылымдары

2.2.1. Газ айдағыш агрегаттардың құрылымдық ерекшеліктері мен жұмыс принциптері

Газ айдағыштың газ берілімі – оның ең бір негізгі параметрлік сипаттамасы болып есептеледі, газ құбырындағы массалық G (кг/мин), көлемдік $Q = \frac{G}{\rho}$ (м³/мин) және коммерсалық (саудалық) Q_k берілімдері.

Коммерсалық берілім Q_k келте құбырға кірердегі газдың күй параметрлері бойынша анықталады, нормалық шарттарға келтірілген $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,1\text{ МПа}$ жағдайда. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың құрылғылық ерекшеліктерін қарастырғанда екі негізгі сатыларын айыруға болады: аралық саты (промежуточный) және соңғылық саты (концевой) (2.1-сурет).



2.1-сурет. Ортадан тепкіш газ айдағыш сатыларының сұлбасы:
 а) аралық саты; б) соңғылық саты; 1- жұмыс доңғалағы;
 2- диффузор; 3- қайтымды бағыттаушы аппарат (ҚБА);
 4- жинақтаушы (айдаушы) камера

Аралық саты – деп (2.1 а-сурет) жұмыс доңғалағынан 1, диффузordan 2 және қайтымды бағыттаушы аппараттардан 3 тұратын, ал соңғылық саты (2.1 б-сурет) жұмыс доңғалағынан

1, диффузордан 2 және айдағыш (жинақтаушы) камерадан 4 немесе ұлудан (улитка) тұратын бөлімдерді айтамыз. Әдетте диффузорды 2 және айдаушы камераны 4 жиі ағынды шығарушы құрылғы дейді.

Енгізуші құрылғының мақсаты – жұмысшы доңғалаққа 1 барынша ең төмен гидравликалық кедергілермен газдың арнаға кіруін қамтамасыздандыру, сонымен бірге газды жылдамдықтың бағыты бойынша бірқалыпты газды беру.

Жұмыстық доңғалақ – газ айдағыш агрегат құрылымының ең маңызды элементі, мұнда газ турбиналы қондырғының айдағышы берген механикалық энергиясы табиғи газдың ағын энергиясына айналады. Доңғалақ қалақшалы дискіден тұрады, дискіге тойтармалар немесе пісіру арқылы жұмыстық доңғалақ бекітіледі.

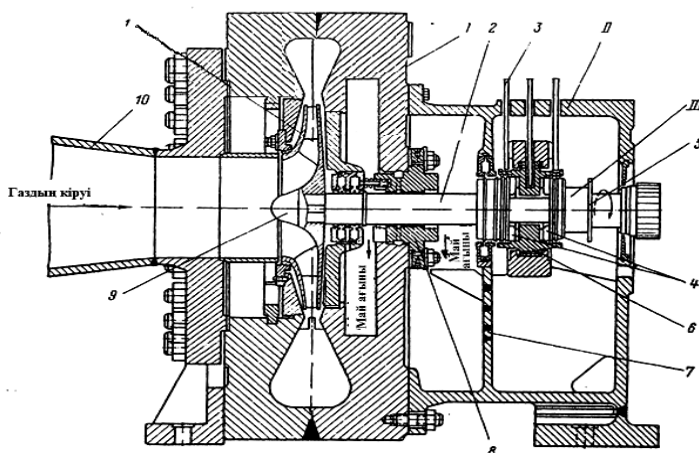
Диффузорда газ ағынының кинетикалық энергиясы жұмыстық доңғалақтан кейін потенциалдық энергияға ауысады. Сонымен қатар, диффузор бір мезгілде жылдамдықтың бағыты және шамасы бойынша газ ағынының біркелкілігін қамтамасыздандырады. Қайтымды бағыттаушы аппараттары екі және көп сатылы айдағыштарда қолданылады және олар өткен сатыдан шыққан газ ағынын келесі сатының кіре берісінде бірқалыпты болуын қамтамасыз етеді. Қазіргі уақытта газ кәсіпшілігінде газды осьтік тәсілмен беретін айдағыштар (Н 280; 2.2-сурет) және газды тангенциалды беруші газ айдағыш агрегаттар (Н 300-1,23; 370-17-1; 520-11-1; 650-21 т.б) меңгерілуде (2.1-2.5-суреттер).

Қазіргі уақыттағы және келешектегі пайдаланатын ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттарының негізгі техникалық параметрлері жоғарыда 2.1-2.4-кестелерінде келтірілген.

Нева мотор зауытының (НМЗ) ОТА- 280-11-1(2) типтегі газ айдағышы (2.2-сурет) елімізде бірінші магистральды газ құбырларының компрессорлық станцияларында пайдаланылды. Айдағыш тұрғыдан (корпустан) I, мойынтірек тұрғысынан II, ротордан III, сорушы және айдаушы келте құбырлардан тұрады.

Айдағыш роторы біліктен 2 тұрады, оның соңында кілткек (шпонкаға) жұмыстық доңғалақ 1 орнатылған. Біліктің бұрандалы ұшында гайка 9 бұрандалған. Айдағыштың мойынтірегінің тұрқысы қалқанмен 7 бөлінген – газдалған және

таза майлы болып екі жолаққа бөлінген. Майды ағызу үшін әр жолақтың келте құбыры бар. Тіреуші диск 4 жұмыстық доңғалаққа жақын орналасқан, қалқаны нығыздау үшін сақиналы шығыңқылы етіп жасалған. Мойынтірек тұрқысының ішінде агрегат лезде тоқтағанда ротор осьтік ілгері жылжығанда импульс беретін (апаттық жағдайда) ротордың 5 осьтік ілгері жылжымалы рельсі орнатылған. Сондай-ақ мойынтірек тұрқысының қақпағы ішінде агрегат тоқтағанда ішпектердің және тіреуіш қалыптардың температуралары жоғарылағанда импульс беретін кедергілі термометрлер 3 орнатылған.



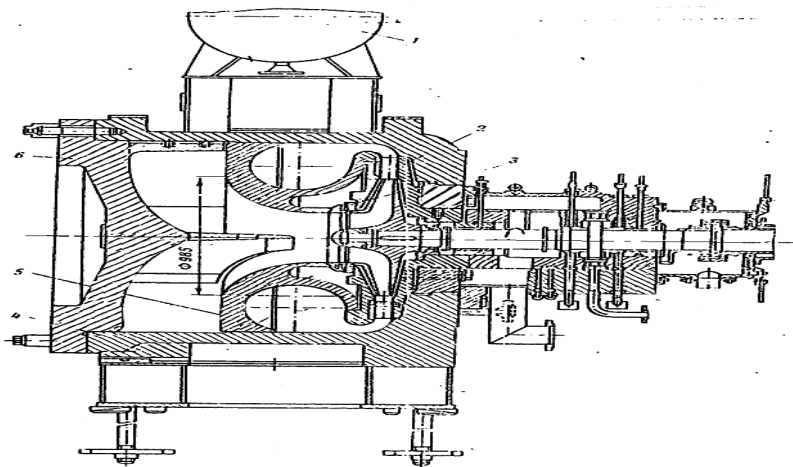
2.2-сурет. Ортадан тепкіш айдағыш Н- 280 – 11 – 1(2)

Айдағыштың роторы тіректі 8 және тіректі-таянышты сырғанаушы мойынтіректе 6 орнатылған. Айдағыш энергожетектеушімен жоғарылатушы тісті бәсеңдеткіш арқылы қосылған.

Айдағыштың роторы тіректі 8 және тіректі – таянышты 6 сырғаналы мойынтіректе орналасқан. Тіректі-таянышты мойынтірек айдағыштың роторын тіреу үшін арналған және де ол айдағыштың жұмыс процесінде пайда болатын өзінің таянышты осьтік күшін қабылдау үшін қызмет етеді.

Айдағыш жоғарылатушы бәсеңдеткіш арқылы айналымға жетектеледі. Айдағыштың мойынтіректері және жалғастырушысының майлау жүйелерінің мәжбүрлі және айналымды. Тіреуші дискі 4 жұмысшы доңғалаққа жақын орналасқан және айырушы қалқанды 7 тығыздаушы балдақты шығыңқылығы бар. Айдағыштың роторлы сағат тілі бойынша айналады, егер де айдағышқа сорғыш түтікше жағынан қараса.

Магистральды газ құбырларында НМЗ-ның 260, 370, 520 (Н-520, 2.3-сурет) типтегі айдағыштар кең таралған. Бұл айдағыштар жетекті тікелей күштілі турбинадан алады және олардан сығымдалып шығарылатын қысымдар 5,5 және 7,5 МПа-ға есептелген.



2.3-сурет. Ортадан тепкіш газ айдағыш ОТА- 520.11-1

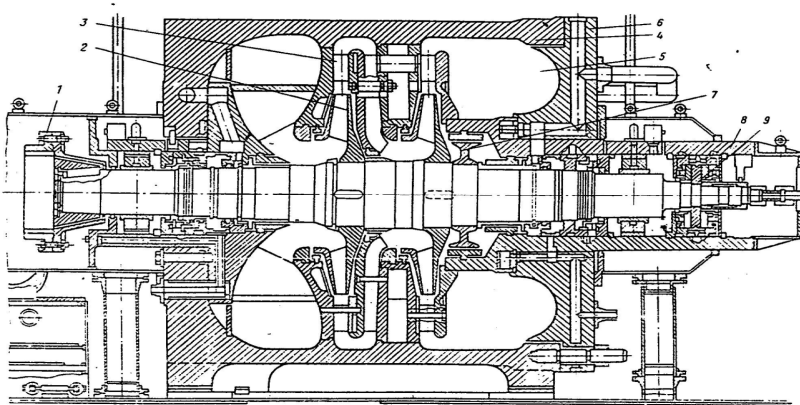
1- май аккумуляторы ; 2-диффузор; 3- тығыздаушы; 4-бөшке тәрізді тұрық; 5- ұлу (улитка); 6-қақпақ

Айдағыштың тұрқы тік ажырамалы тангенциалды бір осьтің бойында орналасқан кірерлік және шығарлық келте құбырлардан тұрады.

Ал, айдағыштың роторы мойын тіректермен, тығыздаушылармен, диффузорлармен бірге пісірілген түзілімді көлденеңді ажырама құрайды.

Айдағыш пісіріліп-құйылған бөшке тәрізді тұрқыдан 4 тұрады. Айдағыштың тұрқысында ұлу (улитка) 5 орнатылған және толық жоңғыланған қалақша мен бұранданың көмегімен диффузор 2 бекітілген. Қалақшалы диффузорға доңғалақ қақпағының тығыздаушысы 3 бекітілген. Айдағыштың тұрқысына 6 қақпақшамен ұлу (улитка) 5 қосылған. Айдағыш тұрқысының жоғары бөлігінде арнаулы орында пісірілген құрылымды май аккумуляторы 1 қондырылған.

ГТК-10, ГТН-25 агрегаттары үшін НМЗ-да толық арынды екі сатылы ортадан тепкіш 235-21 және 650-21 типті газ айдағыштар қолданылады. Айдағыш ОТА 650-21 (2.4-сурет) бір осьтің бойына орнатылған кіргізуші және шығарушы келте құбырлы, төменгі қоспалы болаттан жасалған құймалы тұрқыдан тұрады.

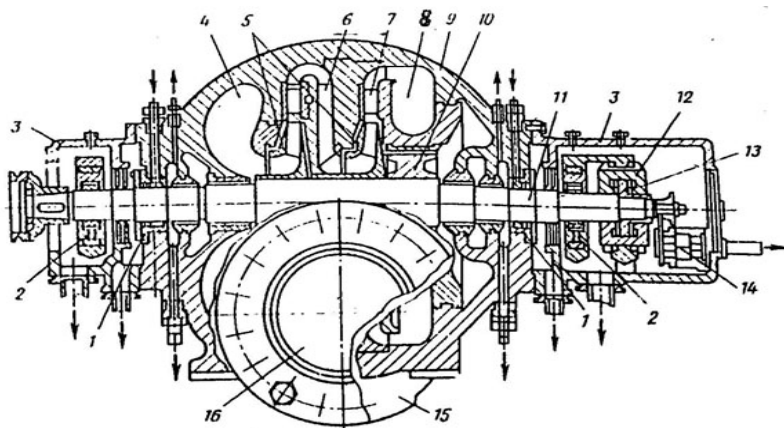


2.4-сурет. Ортадан тепкіш газ айдағыш ОТА-650-21;
1-жарты жалғастырғыш; 2-жұмысшы доңғалақ; 3-қалақты
диффузор; 4-тұрқы; 5-жинаушы камера; 6-қақпақ; 7-думмис;
8-ротор пакеті; 9-таяныш мойынтіректің тарағы

Бірінші және екінші сығылу сатысындағы жұмысшы доңғалақтардың ендері бойынша өзара бірнеше айырмашылықтары бар, ал олардың геометриясы бірдей. Қалақты диффузор 3 және қайтымды бағыттаушы аппараттар пісіріліп жасалынған. Екінші сатының диффузорынан кейін жинақтаушы камера 5

орналасқан. Айдағыштың роторына күштілі турбинадан тістілі жалғастырғыштар арқылы қуат беріледі. Осы тік күшті өлшеу думмиспен 7 жүзеге асырылады.

Сумскі машинажасау өндірістік бірлестігінің ортадан тепкіш газ айдағышы – екі сатылы авиациялық типті газ турбинді қозғалтқыштың түрі 2.5-суретте көрсетілген. Қуаты 6,3 МВт осьтестік ажырамалы кіргізуші және шығарушы келте құбырлы айдағыштың тұрқысы көлденең орналасқан. Жұмысшы доңғалақтың айналым жиілігі салыстырмалы жоғары ($n = 8200 \dots 8500$ айн/мин); бұл жағдайда сығымдау дәрежесі $\varepsilon = 1,45$ -ке, қысымы 5,5 және 7,5 МПа-ға тең.



2.5-сурет. Сумскінің МӨБ-нің ортадан тепкіш газ айдағышы
(қажетті қуаттылық 6300 кВт):

- 1-соңғы тығыздаушы; 2-тіректі мойын тіректің сегменттік түрі;
3-картер (мойын тіректі камера); 4-сорушы камера; 5-жұмысшы доңғалақ;
6-қайтымды бағыттаушы аппарат; 7-қалақты диффузор;
8-жинақтаушы камера; 9-тұрқы; 10-думмис; 11-ротор білегі;
12-таяныш мойынтірек; 13-таяныш диск; 14-негізгі май насосы;
15-сорушы келте құбыр; 16-айдағыш кілте құбыр

2.2.2. Ортадан тепкіш газ айдағыштардың кірерлік және шығарлық құрылғылары

Кірерлік құрылғының міндеті — газ ағымын ең аз гидравликалық шығынсыз және максимальдық шамамен жылдамдықтың бағыты бойынша жұмысшы доңғалаққа бағыттау. Әдетте белгілі, ортадан тепкіш газ айдағыштардың кіре берістік газ өту бөлігінде болатын энергия шығынының қосындысы 10–12% дейін және одан да артығырақ болады, яғни жұмысшы доңғалақтағы болатын шығыннан едәуір көп келеді. Ағын шамасы және жылдамдық бағытының бірқалыпты болмауы жұмысшы доңғалақтың сатысындағы арынды және ПӘК-ті төмендетеді, бұл кездегі газдың көптеу шығындығымен, ал аздау газ шығындығымен жұмыс жасағанда, айдағыштың тұрақсыз режимдік шегіне жақындайды. Минималдық гидравликалық шығында және максимальдық бірқалыпты камтамасыз етуші осьтік кірерлікте келте құбыр болады.



2.6-сурет. Айдағыштардың кірерліктегі келте құбырларының құрылымдық сұлбасы;

а-газды осьтің бойымен беру; б-газды жанынан беруде және жұмысшы доңғалақтың консольдік орналасуында; в-ротордың өзара тіреулерінде; 1-жұмысшы доңғалақ; 2-газ беруші оське қарсы таратушы қырлы қабырға (қыр); 3-кіргізуші бағыттаушы аппарат

Осьтік кірерлік құрылғы негізінде өте үлкен көлемдік шығында қолданылады (мысалы, 280 типті айдағышы, НМЗ). Жалпы табиғи газдың барлық айдағыштары газды жанынан кіргізуші және шығарушы келте құбырларға ие осьтік

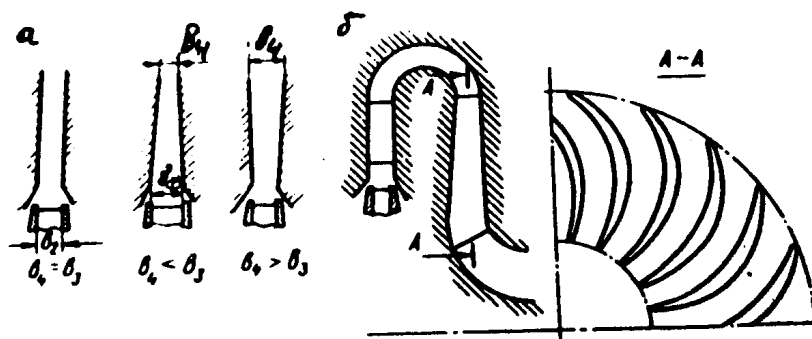
орналасқан (2.6 б-сурет). Мұның өзі құбыр таңғыштарының айдағыштың тұрқыларына әсер етуші күштерді азайтады. Газды жанынан (тангенциалды) кіргізуші келте құбыр жұмысшы доңғалақтың алдында сорушы камераның болуын қажет етеді.

Осындай кірерлікте жанынан газ бергенде және консольды жұмысшы доңғалақты бір сатылы айдағыштағы энергия шығыны $\xi_{\text{сop}} = 0,5...1\%$ тең, ал екі сатылы да (2.6 в-сурет) $\xi_{\text{сop}} = 2...3\%$ тең, мұнда $\xi_{\text{сop}} = 1 - \eta_{\text{сop}}$; $\eta_{\text{сop}}$ – сорушы камерадағы шығындық п.э.к. Екі сатылы айдағыштарда ағынның біркелкісін жоғарылату үшін, жұмысшы доңғалақтың кіре берісінде арнаулы бағыттау аппараты орналастырылады. Ағынның керекті жылдамдығын алу үшін жұмысшы доңғалақтың кіре берісіне конфузор орналастырылады.

Жұмысшы доңғалақтан шыға берісінде газдың қозғалу бағыты бойынша диффузор 2 орнатылған (2.1-сурет). Диффузор – шығарушы құрылғының айрықша маңызды бөлігі, ол барлық уақытта жұмысшы доңғалақтан кейін газдың кинетикалық энергиясын потенциалдық энергияға айналдырады және доңғалақтың айналу бағытында ағынның кері айналымдық мүмкіндігін азайтады. Газ айдағыштарда қалақшасыз (ҚШД) және қалақшалы диффузорлар (ҚД) қолданылады (2.7-сурет). ҚШД-дың басты артықшылықтары – құрылымының қарапайымдылығы және әртүрлі ауқымдағы жұмыс режимінде жұмысының тұрақтылығы. Басқа артықшылығы – жұмысшы доңғалаққа ағынның минимальдық динамикалық әсерлері, жасалғандығы аз еңбек сыйымдылықтық, тозу және желінулердің аз болуы. Екі сатылы айдағыштарда жұмысшы доңғалақтың кіре берісінде, ағынның біркелкілігін жоғарылату үшін арнаулы бағыттаушы аппарат орнатылады. Ондай қырлы жүйе немесе қалақты болуы мүмкін. Кей кезде мұндай жүйені – бір сатылы айдағыштарда қолданады.

Қалақшылы диффузорлардың (2.7 б-сурет) көпшілік бөлігі – бір қабатты торлы түрде жасалынады. Қалақшалы диффузорларды жасағанда көбінесе құрастырылған немесе пісірілген құрылымдары қолданылады. Жұмысшы доңғалақтың газодинамикалық параметрлері – Мах саны «М» салыстырмалы қозғалыстағы шығын коэффициенті ϕ және жұмысшы доңғалақтың кіре берісіндегі шабуыл бұрышы, ал аса маңызды

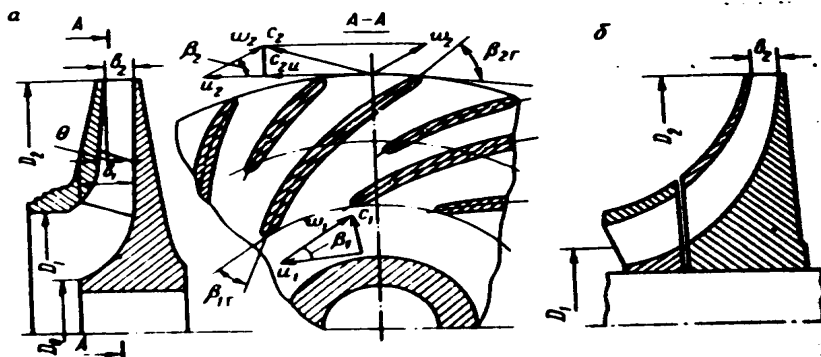
геометриялық параметр болып доңғалақтық қалақшаларындағы шығыстық бұрыш β_2 есептеледі (2.8–сурет). Осы бұрыштар бойынша жұмысшы доңғалақтар насостық типті ($\beta_2 = 15...30^\circ$), компрессорлы типті ($\beta_2=35...55^\circ$) және радиалдық доңғалақтар ($\beta_2 = 90^\circ$) болып жіктеледі.



2.7-сурет. Ортадан тепкіш газ айдағыштардың шығарлық құрылғысы:
 а) қалақшалысыз диффузор (ҚШД); б) қалақшалы диффузор (ҚД)
 қайтымды бағыттаушы аппарат

Табиғи газды айдағыштарда көбірек қолданылатын доңғалақтарда $\beta_2=30...55$ (компрессорлы доңғалақтар). Шығыс бұрышы β_2 азайған сайын, қалақшаның аралық ені де, диффузорлығы да азаяды, яғни доңғалақ неғұрлым реактивті (реактивті дәреже $0.5...0.7$) және үнемді болады. Бұл кезде энергия үнемделеді, бірақ қалақшалардағы арын азаяды. Шығыстық бұрыш $\beta_2 = 35...55^\circ$ жұмысшы доңғалақтар компрессорлық типтер болып саналады, бұл кезде олар аз энергия шығындап, жоғары арынды жұмыс істеу мүмкіншілігіне ие болады. Мұндай доңғалақтардың реактивтік дәрежесі $0.60...0.65$. Қалақшалардың шығыс бұрышы $\beta_2 = 90^\circ$ болған жағдайда жұмысшы доңғалақтың арыны жоғарырақ болады, бірақ компрессорлық және насостық типті доңғалақтарға қарағанда энергия шығыны көптеу болады. Табиғи газды айдағыштар да көбірек қолданылмайтын жұмысшы доңғалақтар

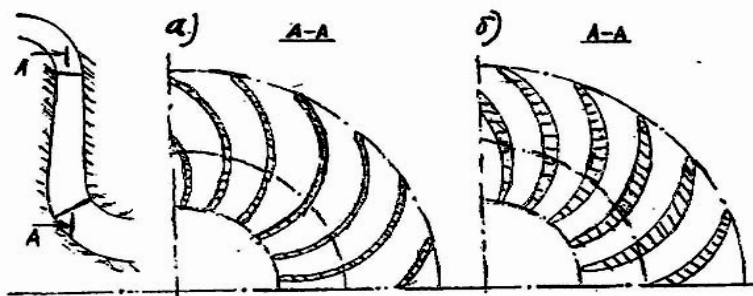
шығарылымдағы бұрыш β_2 30° -тан 55° -қа дейінгі ауқымдарда (компрессорлы жұмысшы доңғалақтар) болады.



2.8-сурет. Жұмысшы доңғалақ құрылысының сұлбасы:
а) Таза радиалды жоңғыланған цилиндрлі доңғалақтар; б) осы радиалды қанаттылы негізгі және жабдықтаушы дискіге доңғалақтар пісіріліп бекітілген сұлба

Жұмысшы дөңгелектің сыртқы диаметрі D_2 берілген айналу жиілігіне және арынға байланысты таңдалады. Радиалды дөңгелекте көп тараған төлкелік қатынас $D_1/D_2 \approx 0.47 \dots 0.65$. Қабылданған D_2 және D_1 өлшемдерінде, бұрыш β_2 -де шеңберлік шығырдағы жылдамдығы $U_2=270\dots300$ м/с шамасында. Жұмысшы доңғалақтың арнасы арқылы өтетін газ шығынына жұмсалған жұмыс дөңгелекке кіре берістегі бөлігінің геометриясын, дөңгелектің енін b_1 және дөңгелектің осьтік кіре берісіндегі бөлігімен және шеңберлікке жанама арасындағы бұрышты $\beta_{1r}=30\dots42^\circ$ (2.8-сурет) анықтайды. Кірердегі үшбұрышты жылдамдықтардан шығатындар, ағынның кірер бұрышы β_1 шеңберлік жылдамдықтың қатынасы U_1 және абсолюттік жылдамдыққа C_1 тәуелді болады. Жұмысшы доңғалақтың кірердегі b_1 және шығардағы b_2 ендерін таңдаған соң қабылдайды. Жұмысшы доңғалақтың шығардағы ені b_2 , яғни салыстырмалы ені $b_2/D_2 = 0.4\dots0.6$ оның ең маңызды геометриялық сипаттамасы болып есептеледі. Қалақшалардың тиімділік санын Z_K таңдау негізінде D_1/D_2 қатынасына және β_1, β_2 бұрыштарына байланысты болады. Ортадан тепкіш

агрегаттардың қайтымды бағыттаушы аппараттарын және жиындаушы камераларын қарастырамыз. Қайтымды бағыттаушы аппараттар (ҚБА) (2.1-сурет) тек қана екі және көп сатылы айдағыштарда қолданылады. Қайтымды бағыттаушы аппараттардың атқаратын қызметі алдыңғы сатының шеттік бөлігінен үйірілген ағымды айдағыштың жұмысшы доңғалағының келесі сатысына беру минимальдық шығынымен және максимальдығы біркелкі. Бұдан басқа ҚБА-ты жылдамдық арынды қысымға өзгерту үшін қолдануға болады, бірақ бұл қосымшалық шығындармен байланысты. Қазіргі кезде тұрақтылы қалыңдықтағы, сондай-ақ денелік аэродинамикалық жетілген профильді қалақшалар қолданылады (2.9-сурет).



2.9-сурет. Қайтымды бағыттаушы аппараттардың құрылысы:
Қайтымды бағыттаушы аппараттың тұрақтылы қалыңдықтағы
қалақшалары (а) және денелік профильді қалақшаларының (б)
құрылымдылық сұлбалары

Қайтымды бағыттаушы аппараттың кірер бөлігі сақиналы бұрылмалы иінді келеді және олардың арналары конфузорлық немесе диффузорлық етіліп жасалынады. Құрылымдағы бойынша қайтымды бағыттаушы аппаратты пісірілген құймалы немесе құрастырылған етіп жасалынады. Кей кезде қайтымды бағыттаушы аппаратты екінші (үшінші) сатылардың бағыттаушы аппараттары деп те атайды.

Бір сатылы айдағыштардың соңғы сатыларында диффузордан кейін жинақтаушы камера 4 (2.1-сурет) орналасқан ұлу түрінде (көлденең қимасының ауданы өзгермейді немесе тұрақты қималы

сақиналы камералы түрінде жасалған. Жинақтаушы камераны айдағыштың арынды келте құбырымен шығарушы диффузордың көмегімен қосады. Жинақтаушы камерадағы және шығарушы диффузордың энергия шығынының қосындысы қалақшасыз диффузорда (КШД) 5...7%-ды құрайды.

2.3. Ортадан тепкіш газ айдағыштардың сипаттамалары

2.3.1. Ортадан тепкіш газ айдағыштың келтірілген сипаттамасы

Айдағыштың келтірілген сипаттамасы – айдағыштың сығу дәрежесінің $\varepsilon_a = \frac{P_{ш}}{P_{кір}}$, политроптық ПЭК-ің $\eta_{пол}$ және меншікті келтірілген қажетті қуаттың $\left(\frac{N_i}{\rho_{г.н}} \right)_{кел}$ газдың келтірілген көлемдік шығыны $(Q_{көл})_{кел}$ және айдағыштың келтірілген әртүрлі салыстырмалы айналу жиілігіне $\left(\frac{n}{n_n} \right)_{кел}$ графикалық түрде тәуелділігін көрсетеді. Төменде 2.10-суретте Н - 370–18-1 типтік айдағыштың келтірілген сипаттамасы көрсетілген.

Әдетте, әр типті айдағыштар үшін, келтірілген сипаттама берілген газ тұрақтысының $R_{кел}$, газдың сығылу дәрежесінің $Z_{кел}$, адиаббаттық көрсеткіштің K , айдағыштағы кірердегі есептеуге қабылдаған газ температурасының $T_{кір}$ (әдетте $T_{кір}=288K$) және қабылданған ауқымдағы айдағыштың келтірілген салыстырмалы айналу жиілігіндегі $\left(\frac{n}{n_n} \right)_{кел} = 0,7 \dots 1,1$ шамаларына байланысты құрастырылады.

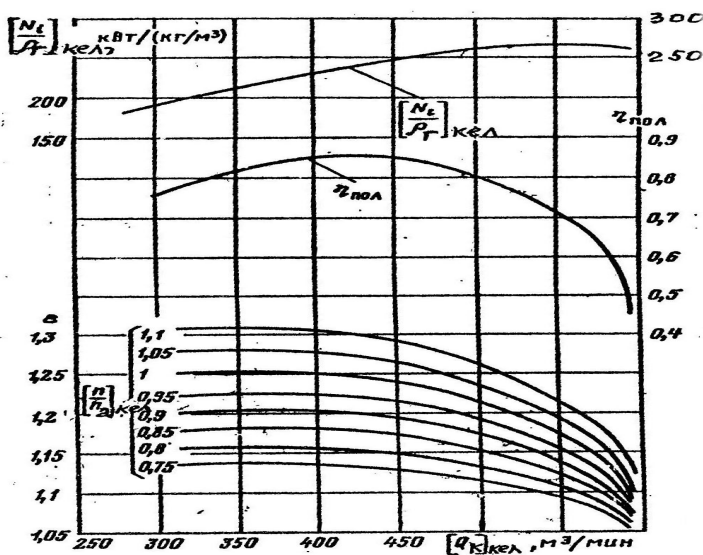
Келтірілген сипаттаманы төмендегенше пайдаланады. Берілген шарттар үшін R , Z , n , $T_{кір}$ -дің ақиқаттық мәндерін біле отырып, айдағыштың келтірілген айналу жиілігін $(n/n_n)_{кел}$ және айдағыш бойынша газдың келтірілген көлемдік шығынын $(Q_{көл})_{кел}$ төмендегі теңдеулермен анықтайды:

$$\left(\frac{n}{n_n} \right)_{\text{кел}} = \frac{n}{n_n} \sqrt{\frac{z_{\text{кел}} \cdot R_{\text{кел}} \cdot T_{\text{кел}}}{z_{\text{кір}} \cdot R \cdot T_{\text{кір}}}}; \quad (2.1)$$

Газдың келтірілген көлемдік шығынын ($Q_{\text{көл}}$)_{кел} төмендегіше анықталады.

$$(Q_{\text{көл}})_{\text{кел}} = \left(\frac{n}{n_n} \right)_{\text{кел}} \cdot Q_{\text{кір}}; \quad (2.2)$$

мұндағы индекс «н» номиналдық жұмыс режимін, ал индекс «кір» айдағышқа кірердегі параметрлерді көрсетеді. Газ айдағыш үшін (3.2) формуласымен есептелінген газ шығыны ($Q_{\text{көл}}$)_{кел} (2.10-сурет) көрсетілген шығынның шамасы сол жақ шегіндегі шамасынан 10–12% артық болуы керек, бұл газ ағынының айдағыштан құламалығын немесе помпаждық құбылысты болдырмау үшін қажет.



2.10-сурет. Н-370-18-1 айдағышының келтірілген сипаттамасы

Сосын $\left(\frac{n}{n_n}\right)_{\text{кел}}$ және $(Q_{\text{кел}})_{\text{кел}}$ -дың табылған шамаларына

тәуелді айдағыштың келтірілген сипаттамасы бойынша берілген графикалық (2.10–сурет) сызыққа сәйкес сығылу дәрежесін $\varepsilon_{\text{айд}}$, ішкі келтірілген қуатты $\left(\frac{N_i}{\rho_{\text{г.н}}}\right)_{\text{кел}}$, политроптық көрсеткішті

$\eta_{\text{пол}}$ анықтаймыз.

$$(T_n)_{\text{кел}}=288\text{K}; \quad Z_{\text{кел}}=0,9; \quad R_{\text{кел}}=490,5 \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{K})};$$

Газ айдағыштың тиімді ішкі қуаты төмендегі қатынаспен анықталады:

$$N_i = \left(\frac{N_i}{\rho_{\text{г.н}}}\right)_{\text{кел}} \cdot \left(\frac{n}{n_n}\right)_{\text{кел}}^3 \cdot \rho_{\text{гн}} \quad (2.3)$$

Газ айдағышқа кірердегі газдың қысымы төмендегі қатынаспен анықталады:

$$P_{\text{г.кір}} = P_{\text{кір}} \cdot 10^6 / Z_{\text{кір}} \cdot R \cdot T_{\text{кір}} \quad (2.4)$$

мұндағы $P_{\text{кір}}$, $T_{\text{кір}}$ —кірердегі (сорудағы) абсолюттік қысым (МПа) және температура (K).

Айдағышқа керекті газ турбиналы қондырғының тиімді (пайдалы) өндірілген қуатын N_e анықтау үшін, табылған индикаторлық қуаттың N_i шамасына, механикалық шығынға жұмсалған қуат шамасын $N_{\text{мех}}$ қосамыз, яғни

$$N_e = N_i + N_{\text{мех}} \quad (2.5)$$

мұндағы N_i – газ турбиналы қондырғылы жетектің ішкі қуаты, $N_{\text{мех}}$ – механикалық қуат, ол механикалық жетектеуде $N_{\text{мех}}=100$ кВт, электрлі жетектеуде $N_{\text{мех}} = 150$ кВт-деп қабылданады. Келтірілген сипаттама мынадай мүмкіндік береді: айдағыштың жүктемесін анықтауға және газ айдағыш

агрегаттарды пайдалануға байланысты айдағышқа тиімділік жұмыс режимін таңдауда өте қажет.

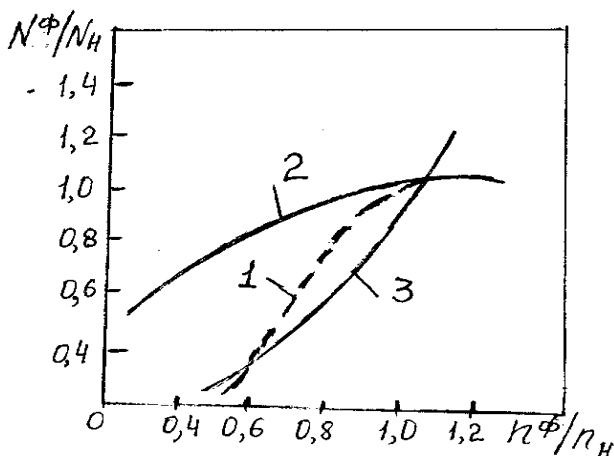
2.3.2. Газ турбиналы қондырғының, ортадан тепкіш газ айдағыштардың және газ құбырларының үйлестірілген сипаттамалары

Газ турбиналы қондырғылардың ПӘК-ін жоғарылату және жұмысын жақсарту мақсатында әртүрлі жүктемелерде сонымен қатар, қажеттілік қуаттарға қойылған талапты қанағаттандыру үшін, екі білікті жоғары қысымды турбиналы (ЖҚТ) және төменгі қысымды турбиналы (ТҚТ) газ турбиналы қондырғылар қолданылады. Бұл кезде күштілік турбинаның (ТҚТ) білігінің айналуы жоғары қысымды турбинаның айналу жиілігіне тәуелсіз өзгереді. Екі білікті газ турбиналы қондырғыда жоғары қысымды турбинаның білігі осьтік компрессорының білігінде бірге орналасқан, ал төменгі қысымды турбинаның білігі бөлек орналасқан. Күштілік турбинаның айналу жиілігін, тек қана газ айдағыштың пайдаланатын қуатын өзгерту арқылы жүзеге асыруға болады. Бұл кезде төменгі қысымды турбинаның айналу жиілігінің өзгеруі іс жүзінде жану өнімділігінің шығындығына және жоғары қысымды турбина алдындағы газдың параметрлеріне әсер етпейді.

Бір білікті және екі білікті газ турбиналы қондырғының ортадан тепкіш газ айдағыш агрегатының сипаттамасымен үйлестірілген диаграммасы 2.11-суретте келтірілген. Осы кездегі газ турбиналы қондырғы қуатының $(N^{\Phi}/N_n)_{ГТК}$ айдағыштың айналу жиілігіне $(n^{\Phi}/n_n)_{айд}$ тәуелділік сипаттамаларын салыстырғанда мынаны байқауға болады, агрегаттың айналу жиілігі төмендегенде, бір білікті газ турбиналы қондырғының қуаты тезірек төмендейді, айдағыштың пайдаланатын қуатының төмендеуімен салыстырғанда. Айтып кететін жағдай 2.1-суреттегі сұлбаны салыстыру турбинаның алдындағы және сыртқы ауаның температуралары бірдей болғандағы жағдайларда.

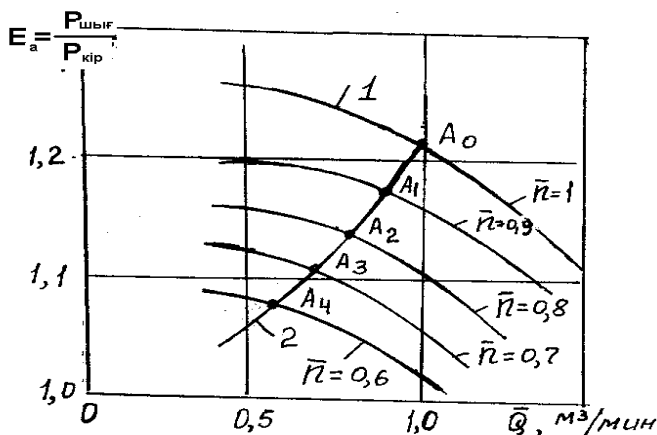
Диаграмма (2.11-сурет), бір білікті қондырғы үшін айдағыштың газ берілімінің төменгі және жоғарғы шегі бар екенін көрсетеді. Осыған орай айдағыштың және газ турбиналы

қондырғы сипаттамаларының өзгеру заңдылықтары әртүрлі болады, бұл кезде бір білікті қондырғының сипаттамасы (1) қуатсыз айдағыштың жұмыс режимін тек рұқсат етілетін жоғары қысымды турбинаның алдындағы газдың максимальдық температурасында іске асырылады. Ал, газ айдағыштың берілісі бойынша екі білікті қондырғы (2) үшін төменгі шектілік қуат деген жоқ. Айдағыштың айналу жиілігі төмендегенде және соған сәйкес «кесілген білікті» газ турбины қондырғының айдағышқа қажеттілік қор қуаты әр уақытта 10...15% қамтамасыздандыруға болады. Сондықтан екі білікті газ турбины қондырғылар айдағыштың кез келген жұмыс режимін қамтамасыздандыра алады.



2.11-сурет. Бір білікті (2) және екі білікті (1) газ турбины қондырғының және ортадан тепкіш газ айдағыштың (3) сипаттамасымен үйлестірілген диаграммасы

Газ айдағыш және газ құбырының үйлестірілген сипаттамалары айдағыштың соңғы тұрақты қысымында $P_{\text{айд.шығ}} = \text{idem}$ тұрғызылады. Себебі, компрессорлық станцияда осы қысымды жоғары және тұрақты ұстауға тура келеді. 2.12-суретте газ айдағыш және газ құбырының үйлестірілген сипаттамалары келтірілген.



2.12-сурет. Газ айдағыш (2) және газ құбырының (1) үйлестірілген сипаттамалары

Газ құбыры (1) және газ айдағыштың (2) сипаттама сызықтарының қиылысу нүктелері ($A_0, A_1 \dots A_4$) газ айдағыштың әртүрлі салыстырмалы айналу жиілігіне ($\bar{n} = \frac{n}{n_n}$) сәйкес, олардың біріккен тиімді жұмыс режимдерін анықтайды.

2.3.3. Компрессорлық станцияларындағы әртүрлі қосылу сұлбаларында үйлесіп жұмыс істеуші ортадан тепкіш газ айдағыштардың сипаттамалары

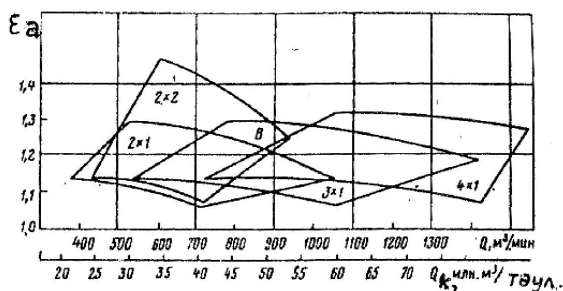
Жалпы компрессорлық станцияларының, компрессорлы цехтарының сипаттамасы – бұл жалпы айдағыштардағы қысымның сығылу қатынасының (ε_a)_{цех} және ішкі келтірілген қуатының $\left(\frac{N_i}{\rho_{i,r}} \right)_{кел}$ компрессорлы цех бойынша жалпы келтірілген көлемдік беріліміне $Q_{кел.КЦ}$ тәуелділігі, мұндағы $Q_{кел.КЦ}$ бірінші типті айдағыштардың көлемдік (келтірілген) берілімі. Бірінші типті компрессорлы цех үшін сипаттамалар

типтік келтірілген ортадан тепкіш газ айдағыштардың сипаттамаларына негізделіп тұрғызылады [3].

Бұл жағдайда;

$$\varepsilon_a = f_1(Q_{\text{кел}}); \quad \eta_{\text{пол}} = f_2(Q_{\text{кел}}); \quad \left(\frac{N_i}{\rho_{i,z}} \right)_{\text{кел}} = f_3(Q_{\text{кел}}), \quad (2.6)$$

Өртүрлі сұлбада қосылып үйлесіп жұмыс істейтін газ айдағыш агрегаттардың сипаттамалары 2.13-суретте көрсетілген.



2.13-сурет. Компрессорлық станциялардағы өртүрлі қосылу сұлбаларында үйлесіп жұмыс істеуші ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың сипаттамалары

Белгіленген сипаттамалардағы (2.13-сурет) қосымды сандар параллель жұмыс істеуші газ айдағыш агрегаттарды анықтайды, ал санның өзі – тізбектілі жұмыс жасайтын агрегаттардың санын көрсетеді. Мысалы, сұлбада көрсетілген $2 \times 2 \times 2$ мәндері компрессорлық станцияларда үш топты айдағыштар параллель жалғасып, әр топта екі тізбектілі бойынша қосылған газ айдағыш агрегаттар жұмыс жасайды, 2×3 немесе 3×2 сұлбалы қосылған газ айдағыш агрегаттар өте сирек пайдаланылады және олар тек ауыспалы жұмыс режимінде мысалы, агрегаттардан бір агрегатты ажыратқанда қолданылады.

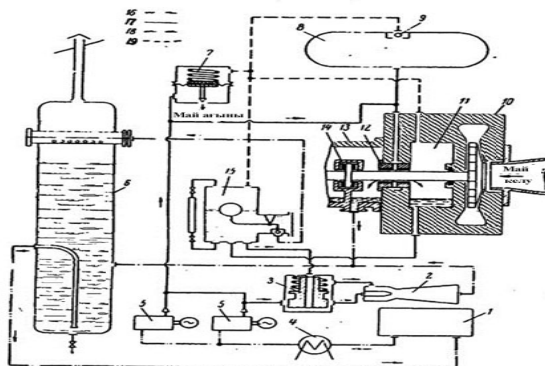
2.4. Газ айдағыштың білігін тығыздаушы (нығыздаушы) жүйелер

Газ айдағыш агрегаттардың білігін тығыздаушы құрылғылары соңғылы немесе сыртқылы және ішкілі немесе аралық болып бөлінеді. Соңғылы тығыздаушылар айдағыштардан өтетін сығылған газды басқа сыртқы шекті жаққа жіберуден қорғайды. Аралық тығыздаушылар өткізуші бөліктің арасынан газдың өтуін төмендетеді немесе толық өтуінен қорғайды. Тығыздаушылар құрылымдық сұлба бойынша түйіспейтіндік (шытырмандық) гидравликалық және түйіспелік болып бөлінеді. Түйіспейтінділіктің ішінде ең маңыздысы шытырмандық (лабиринттік) айдағыштың тығыздаушы жұмысшы доңғалағының жабдықтаушы дискісінің төлкесінде қолданылатыны. Лабиринттік тығыздаушы үшін тот баспайтын – болат, жез, қола, пластмассалар қолданылады.

Гидравликалық тығыздаушылар төлкелі типті жасалынады, сонымен бірге бұл кезде негізгі тығыздаушы төлке болып, тіректі мойынтіректің ішкі беті атқарады, оның өзі цилиндрді кеулей жонылған және білік пен диаметрлік саңылауы аз келтірілген. Жалпы айдағыштағы арнаулы сорғымен берілетін тығыздаушы майдың қысымы арнаулы реттеуші ағынды «май-газ» атты газдың қысымынан әлдеқайда көп болуы керек.

Мысал ретінде ортадан тепкіш газ айдағыш ОТА-280 түрінің гидравликалық тығыздаушы жүйесі 2.14-суретте көрсетілген, оның жұмыс істеу принципі төмендегіше өтеді.

Май ыдысынан (бағынан) 1 май салқындатқыш 4 арқылы май бұрамалы сорғыға 5 кіреді, одан кейін 5,8 МПа қысыммен айдағыштың тығыздалған тіректі мойынтірегіне 12 келеді. Газ айдағыштың жұмысшы жолағынан тығыздаушы құрсаумен және ротордың арасындағы саңылау арқылы тығыздаушы камераға 11 өтеді. Айдағыштың білігі бойынша ары қарай газдың қозғалуын тығыздалған мойынтіректегі қарсы қысымды май құтқарады, осының арқасында тығыздық қамтамасыздандырылады. Тығыздалатын мойынтіректегі майдың қысымын тығыздаушы камерадан 0,2...0,3 МПа-дан артық қысым құламасын реттеуші 7 ұстап тұрады.



2.14-сурет. Н –280 типті айдағыш білігінің гидравликалық тығыздау сұлбасы:

1-май ыдысы (бағы); 2- инжектер; 3-автоматтық клапан;
4-май салқындатқыш; 5- бұрамалы сорғы; 6-газ бөлуші және гидробекітпе; 7- газ-май қысымының айырмасын реттеуші; 8- май аккумуляторы; 9- шарикті қайтымды клапан;
10-айдағыш; 11- тығыздаушы камера; 12-тығыздаушы (тіректі) мойынтірек; 13-тіректі-таянышты мойынтірек қартері; 14-тіректі-таянышты мойынтірек; 15- қалтқылы камера; 16- төменгі қысымдағы май; 17-жоғары қысымдағы май; 18- газбен қоспалы май; 19- газ

Ротормен тығызданушы мойынтірек ішпегінің арасындағы саңылаудан май ішпектің екі жағына бірдей құйылады, соған сәйкес жоғары қысымды камераға 11 және тіректі – таянышты мойынтіректің қартеріне 13 беріледі. Жоғары қысымды камерада май қалтқылы камераға 15 түседі, одан кейін автоматтық клапанды 3 өте, газ айырушыға 6 жіберіледі, одан кейін май қайтадан қондырғының май ыдысына (бағына) қайтады. Майдан бөлінген газ – газ бөлушінің пілтесі (свечасы) арқылы атмосфераға кетеді.

Бұралмалы май сорғыштарды айырғанда немесе олардың істен шығуында тығыздалынушы мойынтірекке май ыдысынан (бағынан) аккумулятордан беріледі 8, ол айдағыштың осінен 2...3 м жоғары орналасқан және тығыздаушы камерадағы газдың қысымында болады. Май аккумуляторы тығыздықты және 3...5

мин ішінде тығыздалатын тіректілі мойынтіректі майлаумен камтамасыздандырады. Осы айтылған жағдайлар айдағышты газ құбырынан айыру үшін, сондай-ақ айдағыштағы қалған газды атмосфераға шығару және роторды үлкен айналымынан шығару үшін қолданылады. Жалпы бұл процесте ротордың және тығыздаушы мойынтіректердің ішпегі арасындағы саңылау арқылы май екі жаққа ағылады, жоғары қысымды камераға 11 және тіректі – таянышты мойынтіректің камерасына сәйкес.

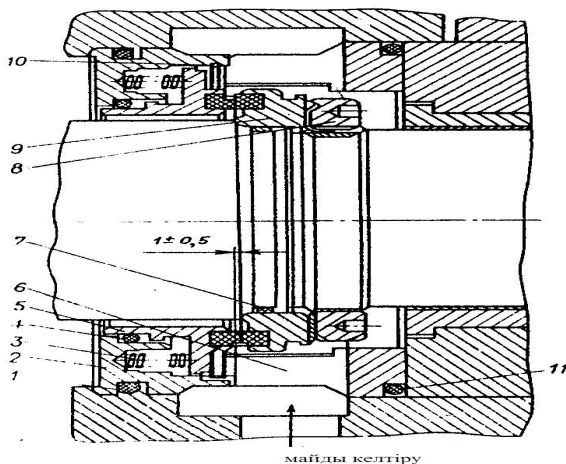
Қазіргі уақытта түйіспелі шет жақтылы тығыздаушы жүйелер атқаратын міндеттеріне қарай әртүрлі машиналарда және жүйелерде қолданылады, соның ішінде газ айдағыш агрегаттарда. Түйіспелі тығыздықтың кемшіліктеріне кіретіндер: графиттік сақиналардың жиі сынуы, күрделілігі және де оларды ауыстырудың қиындығы, яғни осыған байланысты машиналардың түгел талданып бөлшектенуі.

Шет жақтылы тығыздаушылар құрылымдықтары бойынша айналдырушы тығыздаушы және қозғалмайтын серпімділі элементтілік болып бөлінеді. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегатында негізінде соңғы тығыздатқыштардың құрылымдары қолданылады.

Шет жақтылық тығыздаушылықтың барлық құрылымдарында жұмысшы дененің (газдың) қысымынан қысымы бірнеше артатын жабдықтаушы сұйықтық (турбиндік май) тығыздаушылар қолданылады.

Қазіргі уақытта газ кәсіпшілігінде қолданылатын айдағыштар тобының көбі – білікті шет жақтылы тығыздаушылармен жасалған (айдағыштар 235, 260 –12 – 4, 370 –17 – 1, 520 –12 – 1 және т.б.) Төменде 2.15-суретте ГТН-16 үшін Н 235 типті айдағыштың білігін шет жақты тығыздаушысының құрылымдылығы келтірілген.

Айдағыштың шет жақтылы тығыздаушысы (2.15-сурет) агрегаттан газды ротордың соңғы бөлігіне өтуден сақтайды. Тығыздаушы төлкеден 5 және тұрқыдан 2 тұрады. Төлке серіппемен 3 тығызды балдаққа 9 қысылған, ал ол білікке гайкамен бекітілген.



2.15-сурет. ГТН-16 үшін Н 235 типті айдағышының шет жақтылы тығыздаушысы

Токтаушы балдақ 10 айдағышты бөлшектегенде төлкенің ығысуына шек қояды. Тығыздаушының тұрқысымен және тіректілі мойынтіректің арасына балдақ 6 қойылған. Ротор айналғанда пайда болатын жылуды әкету үшін және газ ысырабын болдырмау үшін тығыздаушылық алқабына газдың қысымынан 0,1.....0,2 МПа артық қысыммен май беріледі. Осы кездегі керекті қысымдар айырымы «май-газ» реттегішпен реттеледі. «Май-газ» қысымының айырымы болуы, шет жақтылы таяныш балдақтың және төлке беттерінің жақсырақ тығыздылы орналасуына әсер етеді. Тығыз орналасқан таяныш балдақ 9 және төлке 5, сондай-ақ резеңкелі балдақтар 1,4,7,11 тығыздықтан майдың ағынуына кедергі жасайды. Таянышты балдақтың шет жақты бөлігі және төлке, үлкен қаттылыққа және тозу төзімділігіне ие болатын антифрикциондық материалдан БСГ-30 (борсимциролық графит) жасалған. Мұның өзі үйкелісте болатын топты бөлшектердің ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыздандырады. Әдетте жұмыс істейтін машиналарда тығыздықтан ағатын ысырап майдың мөлшері 0,5 кг/сағаттан артық емес.

2.5. Ауаның сыртқы жағдайларының өзгеруіне тәуелді энергожетектердің және газ айдағыштардың қуаты

Магистральды газ өткізгіштердегі газ турбиналы газ айдағыш агрегаттар сыртқы атмосфералық қысым мен температураның тұрақты өзгеруі жағдайында жұмыс істейді.

Газ турбиналы қондырғының сыртқы көрсеткіштері ең алдымен олардың қуаты және п.э.к.-ті сыртқы атмосфералық температурамен қысымға тәуелді екені турбомашиналар теориясынан белгілі. Алайда, сыртқы қоршаған ауа қысымының ауытқуы жекеленген компрессорлық станциядан станцияға дейін салыстырмалы түрде аз болады ($\pm 4\%$ орташа мәнінен). Осыған сәйкес, газ турбиналы қондырғыға осьтік компрессор арқылы берілетін ауа шығыны және газ турбиналы қондырғының қуатымен п.э.к.-ті өте аз шамада өзгереді ($\pm 4\%$), яғни сыртқы ауа қысымының өзгеруі газ турбиналы қондырғының жұмысына тигізетін әсері аздау болады. Бірақ компрессорлық станциялар теңіз деңгейінен 100 м биіктеген сайын газ турбиналы қондырғының қуаты 1% төмендейді.

Әдетте газ турбиналы қондырғының қуатына және басқа параметрлеріне көбірек әсер ететін қоршаған ауа температурасының өзгеруі $t_{ат}$. Айтып кететін жағдай, егерде газ турбиналы қондырғының қуаты сыртқы қоршаған ауаның температурасына байланысты өзгертін болса, онда газ айдағыш агрегатқа қажетті қуатты және газ құбырлары арқылы өтетін газ өнімділігі де өзгереді болады.

Турбинаның алдындағы жану өнімділігінің температурасының t_3 тұрақты жағдайында сыртқы атмосфералық температура $t_{ат}$ төмендегенде газ турбиналы қондырғының қуаты және айналу жиілігі өседі, соған орай газ айдағыш агрегаттардың газ өткізу қабілеттілігі көбейеді. Керісінше атмосфералық температураның $t_{ат}$ жоғарылауы газ турбиналы қондырғының қуатын және оның білігінің айналу жиілігін азайтады. Газ турбиналы қондырғы білігінің тұрақты айналу жиілігінде және сыртқы атмосфера температурасының төмендеу кезінде турбина алдындағы газдың температурасы t_3 біраз жоғарылайды, ал газ турбиналы қондырғының қуатымен п.э.к.-ті көбейеді.

Газ турбиналы қондырғы қуатының тұрақтылығында сыртқы ауа температурасының төмендеуі турбинаға кірердегі газ температурасының және оның білігінің айналу жиілігінің төмендеуіне, бірақ п.э.к.-тің өсуіне әсер етеді. Осындай, сыртқы ауа температурасының газ турбиналы қондырғының жұмыс режиміне және көрсеткіштеріне әсерін, арнаулы бұрылысты енгізілмелі бағыттаушы аппаратты турбинаға орнату арқылы азайтуға болады. Мұның өзі қондырғы арқылы берілетін отындық газдың мөлшерін өзгертіп газ турбиналы қондырғының жұмысын реттеуге мүмкіндік береді. Әдетте жұмысшы доңғалағының тікелей бұрылысты газ турбиналы қондырғының қалақшалары құрылымдық жағынан күрделі, сондықтан турбинадағы бағыттаушы аппараттың өзіндегі бұрылысты қалақшаларды қолдану кең тараған.

Компрессорлық станциялар үшін, газ турбиналы қондырғыларды жасаушы зауыттар, әдетте газ айдағыш агрегаттарды сыртқы атмосфералық температураға $+15^{\circ}\text{C}$ және қысымға 101325 Па сәйкес (стандартқа сай) жобалап жасайды. Бірақ газ айдағыш агрегаттар компрессорлық станцияларда сыртқы ауаның температурасы әртүрлі аудандарда пайдаланылады. Осы айтылғандарға сәйкес газ турбиналы қондырғының қуатына циклдің шекті температураларының $T_{\text{ат}}$ және T_3 әсерін қарастырамыз. Газ турбиналы қондырғының тиімді қуатының $N_{\text{етк}}$ шамасы келесі қатынастан табылады:

$$N_{\text{етк}} = N_{\text{ет}} - N_{\text{ек}} = N_{\text{е}} (1 - \lambda), \quad (2.7)$$

мұндағы $N_{\text{ет}}$ – газ турбинаның тиімді қуаты; $N_{\text{ек}}$ – компрессорды жетектеуге жұмсалған қуат; $\lambda = \frac{\lambda_{\text{ек}}}{\lambda_{\text{ет}}} \cong 0,6...0,7$ компрессор

жұмысымен $\lambda_{\text{ек}}$ (сығылу) турбина жұмысының (ұлғаю) $\lambda_{\text{ет}}$ қатынасы. $\lambda = 0,6...0,7$ – номиналдық жүктемеде және $\lambda = 0,8$ – жартылай жүктемеде. Газ турбиналы қондырғының ағымдылық және номиналдық $N_{\text{е}}^{\text{H}}$ қуаттарының мәндерін төмендегі (3.8) теңдеуімен анықтауға болады.

$$Ne_{ГТК} = Ne_T - Ne_K = Ne_T (1 - \lambda) = Ne_T^H \cdot \left[\left(1 - \frac{\Delta t_{aT}}{T_H} \right) \cdot \left(1 - \lambda_H \cdot \frac{T_{aT}}{T_H} \right) \right], \quad (2.8)$$

Газ турбины мен компрессор арасындағы қуаттардың есептік қатынасы төмендегі формуламен анықталады:

$$\lambda = \lambda_H \cdot \frac{T_{aT}}{T_H}, \quad (2.9)$$

мұндағы λ_H – номиналды режимдегі компрессорлар мен газ турбины қуатының қатынастары (пайдалы жұмысты пайдалану дәрежесін сипаттайды); T_{aT} – бастапқы ауа температурасының абсолюттік ағымдық мәні; T_H – номиналды режимдегі ауа температурасының бастапқы есептілік мәні; (3.8) теңдеуіндегі $\Delta t_{aT} = T_{AT} - T_H$ номиналды режимімен салыстырғандағы сыртқы ауа температурасының өзгеруі (3.8) және (3.9) теңдеулерін еске ала отырып, сыртқы ауа температурасы өзгеруіне қатысты газ турбины қондырғы қуатының салыстырмалы өзгеруі Н.И. Белоконь [3] теңдеуімен анықталады.

$$\frac{Ne}{Ne_H} = \left(1 - \frac{\Delta t_{aT}}{T_H} \right) \left(1 - \frac{\lambda_H}{1 - \lambda_H} \cdot \frac{\Delta t_{aT}}{T_H} \right), \quad (2.10)$$

мысалы, $+15^\circ\text{C}$ ауа температурасы кезінде (әдетте, ГТҚ-ның) номиналды тиімді қуатын Ne^H есептейтін стандарттық жағдайдағы температура және -15°C -дегі кезіндегі номиналдық қуаттардың салыстырмалы өзгеруі (3.10) бойынша анықтағандағы қатынас 1,3175 құрайды, яғни

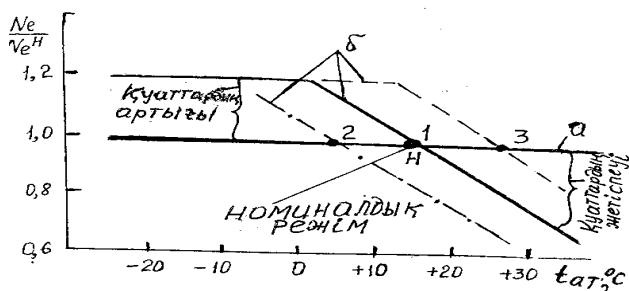
$$\overline{Ne}_H^{(-15^\circ\text{C})} / \overline{Ne}_H^{(+15^\circ\text{C})} = 1,3175,$$

Осы күнгі қолданыстағы газ турбины қондырғылар үшін номиналды режимдегі компрессорлар мен газ турбины қуаттарының қатынасын $\lambda_H \approx 0,65$ деп қабылдайды. Олай болса, газ турбины қондырғылардың қуаттарының теориялық қатынасы, ауаның ең төменгі ($t_{aT} = -35^\circ\text{C}$; $\Delta t_{aT} = -50^\circ\text{C}$) және ең жоғарғы температуралары ($t_a = +35^\circ\text{C}$; $\Delta t_{aT} = +20^\circ\text{C}$) кезінде (3.10) сәйкес 1,914 құрайды, яғни

$$\frac{Ne_{\max}^{(-35^\circ\text{C})}}{Ne_{\min}^{(+35^\circ\text{C})}} \approx 1,914 \quad (2.11)$$

(3.11) және (3.12) табылғандар қуаттардың салыстырмалы мәндері газ турбины қондырғының осьтік компрессорына кіретін атмосфералық сыртқы ауа температурасы төмендеуінің нәтижесінде газ турбины қозғалтқыштың қуатын өсіруге болатынын көрсетеді. Газ айдағыш пен газ турбины қондырғының жұмыс режимдері бойынша берілген параметрлерін (қуаттарын) салыстыру, олардың үйлестірілген сипаттамаларын $\bar{N}e = \frac{N_e}{N_e^H} = f(t_{at})$ тұрғызуға мүмкіндік береді, сондай-ақ сыртқы

ауа температурасының өзгеруіне тәуелді газ турбины газ айдағыш агрегаттардың сипаттамасын ($n=idem$) тұрғызуға болады. (2.16-сурет). а) Газ айдағыштың пайдаланатын қуаты; б) Газ турбины қондырғының қуаты. Суреттен көретініміз сыртқы ауа температурасы t_{at} өзгерсе де, айдағыштың пайдаланушы қуаты (а) өзгермей тұрақты болып қалатыны байқалады.



2.16-сурет. Сыртқы атмосфералық ауа температурасының өзгеруіне t_{at} тәуелді газ турбины қондырғы және газ айдағыштың салыстырмалы қуаттары $\bar{N}e = N_e / N_e^H$:

Ал $t_{at} < t_{at}^H$ ($+15^\circ\text{C}$) болса, яғни есептік температурадан ($+15^\circ\text{C}$) төмен температурада компрессорлық станцияда газ турбины қондырғылар артық қуатқа ие болады (өседі), ал $t_{at} > t_{at}^H$ болғанда керісінше газ турбины қондырғының қуаты төмендейді.

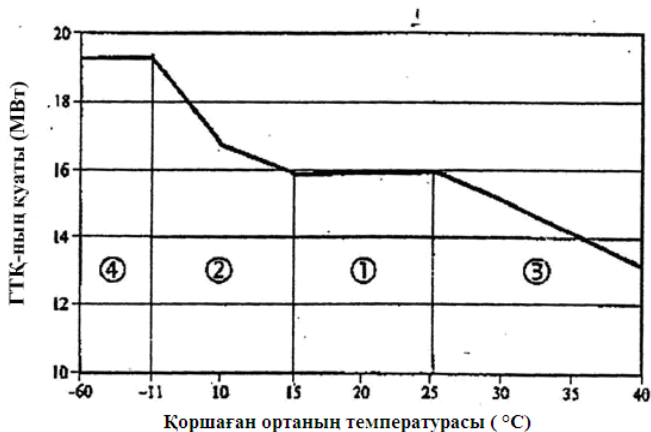
Осындай газ турбины қондырғылармен айдағыштың сыртқы ауа температурасына $t_{at} \neq t_{at}^H$ байланысты олардың сипаттамаларының сәйкес келмеуі барлық газ айдағыш

агрегаттардың қуаттарын толық пайдалану мүмкіншілігін кемітеді де газ өткізгіштің өткізу қабілеттілігін төмендетеді.

Айдағыштың пайдаланатын тұрақты қуаты кезінде сыртқы ауаның температурасын өзгерту арқылы, берілген газ турбиналы қондырғының қуатын толық пайдалануға болатынын байқауға болады (2.16-сурет). Суреттегі 1-нүкте ауа температурасының (+15°C) есептік (номиналдық) температурасына сәйкес кезіндегі газ турбиналы қондырғы мен айдағыштың біріккен жұмыс режиміне сәйкес келеді, нүкте –2 $t_{ат} = +5^{\circ}\text{C}$ -ге, ал нүкте –3 $t_{ат} = +25^{\circ}\text{C}$ -ге сәйкес келеді. Егер есептік температурадан $t_{ат}^H = +15^{\circ}\text{C}$ ауа температурасының төмендеуі + 10°C немесе –10°C дейін. Газ турбиналы қондырғының қуаты айдағыштың пайдаланатын қуатынан артық болады, сондықтан газ турбиналы қондырғының өндіретін қуаты толық пайдаланбайды.

Егер сыртқы ауаның температурасы +15°C-тан жоғары болса, онда газ турбиналы қондырғының қуаты айдағышты жетектеуші қуатқа жетпейтін болады. Жыл бойы әр жерлердегі сыртқы ауа температурасының өзгеру шамасын біле отырып компрессорлық станцияларға керекті жылдық энергия мен газ турбиналы жетектілі агрегаттардың номиналдық қажетті жетіспеушілік қуаттарын анықтауға болады. Сондықтан, осы жоғарыда көрсетілген байланыстарды және сипаттамаларды түрлі аудан аймақтарында ауа райына байланысты айдағыштар үшін, газ турбиналы қондырғыларды таңдау кезінде пайдалануға болады.

2.17-суреттегі график сыртқы қоршаған ауаның температурасы газ турбиналы қондырғының қуатына елеулі әсер ететіндігін көрсетеді. Бірақ газ айдағыш агрегаттарды пайдалану кезде агрегаттардың беріктігінің шарттары бойынша. Сыртқы ауаның температурасы төмендегенде газ турбиналы қондырғының қуатын номиналдық шамадан 15%-тен асыруға болмайды, себебі газ айдағыш агрегаттарда қосымша жоғары жүктемелер пайда болады.



2.17-сурет. Газ турбиналы қондырғының АЛ-31СТ қуатының сыртқы ауаның температурасына байланысты өзгеру графигі көрсетілген:

1- номиналдық қуат; 2- қоршаған ортаның температурасы төмендегендегі қуаттың өсуі; 3- қоршаған ортаның температурасы жоғарылағандағы қуаттың төмендеуі; 4- қыс уақытында қуаттың максимальды шегі

3. ГАЗ АЙДАҒЫШТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІНІҢ ДИАГНОСТИКАСЫ

3.1. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін анықтаудың әдістері

Диагностика грек тілінен аударғанда **diagnostikos** – қабілеттілікті білу. (ГОСТ) МЕСТ-қа сәйкес, техникалық диагностикада агрегаттардағы процестерді сипаттайтын параметрлеріне сәйкес диагностикадан өтетін объекттер үшін, арнаулы өлшеуші приборларымен техникалық күйлерді анықтайтын диагностикалық әдістері жасалуы тиіс. Техникалық диагностика терминін кейде агрегаттардың жұмыс қабілетін анықтау үшін, қажетті тексеру процесі деген түсінік деп айтуға болады.

Алдына қойылған мақсатқа және мәселеге байланысты техникалық диагностиканың келесідей негізгі түрлерін ажыратуға болады; функционалды бұл кезде негізгі энергетикалық параметрлерінің өзгеруі (нашарлауы) басқа параметрлерге байланысты анықталады (мысалы, қуаты мен п.э.к-ті), құрлымдық-механизм бөлшектерінің зақымдалу (тозу) дәрежесімен сипатталып бағаланды (мысалы, пайдаланылған майлаушы майды талдау және оның құрамындағы механикалық қоспалар бойынша), визуалды (көрмелі) – агрегаттардағы бөлшектерді сырттай тексеруде олардың бұзылу және істен шығу себептері анықталады, болжамдық агрегаттағы бөлшектердің немесе жүйелердің тозуының сипатын және олардың істен шығу мерзімін алдын ала бұрын болжайды. Бұлардан басқа пайдалану жағдайында диагностиканың келесідей түрлері қолданылады: параметрлік, дірілдік агрегаттың шуылдысы детальдарымен түйіндерін зерттегенде олардың пайдаланған мотор майына қарай болжауға болды.

Газ құбырларындағы газ айдағыш агрегаттардың жұмысын бағалау кезінде аталған диагностика түрлерінің маңызы зор, себебі компрессорлық станцияларда агрегаттар бірнеше жүздеген, мыңдаған сағаттар бойы үздіксіз жұмыс жасайды.

Компрессорлық станциялардағы газ турбиналы қондырғылар мен газ айдағыштардың параметрлерін үнемі бақылап отыратын

өлшеуіш жүйелер тұрақты жұмыс істейді. Мұнда әртүрлі кезеңдік жиілікте газ турбиналы қондырғының және айдағыштың күре жолдары бойынша жұмысшы дененің және табиғи газдың параметрлерін, қоршаған ортаның параметрлерін өлшейді. Агрегаттардың техникалық күйінің маңызды сипаттамасы болып, олардың сенімділігі, тұрақты жұмыс істеуі, мотоқорлық жағдайы – келесі жөндеу жұмыстарына дейінгі үздіксіз жұмыс істеу уақыт саналады. Агрегаттардың күйін газ айдағыш агрегаттардың жұмысшы механизмдерінде пайда болған ақауларды анықтау және параметрлерді өлшеу арқылы ғана емес, сонымен қатар газ айдағыш агрегаттардың мынадай жұмыс істеу сипаттамаларымен – шу, діріл, акустика, оптикалық, айдағыштың білігіндегі тығыздықтағы газ шығыны арқылы да бақылауға болады.

Газ айдағыш агрегаттардың шуылы – диагностикалық ақпарат көзі болып есептеледі. Шу, негізінде агрегат күйінің өзгеру кезінде, сондай-ақ сыртқы жағдайларының әсері нәтижесінде пайда болатын механикалық және аэродинамикалық құбылыстардың туындысы. Дірілдің болуы – агрегат бөлшектерінің тез тозуына әкеп соғады, соның ішінде ең алдымен дірілге душар болмайтын және алғашқы болып істен шығатындар (мойынтіректер, жұмысшы қалақшалар, роторлар, айдағыштың тұрқысын бекітуші түзілімдер және т.б.). Кей кезде газ айдағыш агрегаттардың бөлшектер мен түзілімдерін құрылымдық диагностикалау әдісі, пайдаланылған майды талдау бойынша жүргізіледі. Агрегаттарды пайдалану шартында оларды диагностикалау үшін, пайдаланған майлау майына спектралдық талдау әдісі қолданылады. Бұл әдіс пайдаланылған майдың құрамындағы әртүрлі элементтердің шоғырлануын анықтауға көмектеседі. Мысалы, Fe, Si, Al, Pb т.б., сосын осы анықталған элементтердің шамаларын біле отырып, агрегаттың тозған бөлшектерінің түрлерін анықтауға болады. Сондай-ақ лазерлік анализатордың көмегімен тозған бөліктердің өлшемі бойынша газ айдағыш агрегаттардың түзілімдерінің жұмыс жасау режимдерін және бөлшектерінің бұзылуы туралы ақпарат алуға болады, содан кейін агрегаттағы майды ауыстыру жөнінде мағлұмат аламыз.

Осы және басқа да диагностикалық әдістер арқылы агрегаттардың техникалық күйін анықтауға, сондай-ақ агрегаттардың істен шығу, жөндеу мерзімдерін және олардың

жұмыс істеу тиімділігін арттыру жөнінде алдын ала болжауға болады. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйлері бүкіл газ тасымалдаушы құбырдың технологиясына және оның газ өткізу қабілеттілігіне әсер етеді. Газ өткізгіш құбырларындағы газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйлері жөндеу аралығында, олардың пайдаланушылық қуаттары 10...20 % дейін төмендейді.

3.1.1. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін газ шығыны белгілі болған жағдайда анықтау әдісі

Газ айдағыш агрегаттарын пайдалану кезінде олардың энергетикалық сипаттамалары өзгереді, соған орай газ айдағыш агрегаттардың негізгі көрсеткіштерін, ең алдымен п.э.к-ін, қуатын анықтау мәселесі туындайды. Бұл кезде олардың жұмыс режимін табиғи газдың параметрлері бойынша сипатталады. Жалпы ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың қажетті ішкі қуаты айдалған газ шығыны және айдағыштағы сығылған табиғи газдың энтальпиясының айырмашылығы бойынша анықталады.

Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың (газдың күре жолының) техникалық күйін бағалау политроптық п.э.к-нің $\eta_{пол}^{ак}$ агрегатты пайдаланудағы (ақиқаттық) мәнімен оның эталондық мәнін $\eta_{пол}^э$ салыстыру арқылы жүзеге асады. Бұл кезде айдағыш арқылы өтетін газ шығыны $(Q_{aг})_{кел}$ белгілі. Айдағышты пайдалану кезіндегі (ақиқаттық) политроптық п.э.к-тің $\eta_{пол}^к$ мәні мына формуламен анықталады:

$$\eta_{пол}^{ак} = \left(\frac{\kappa - 1}{\kappa} \right) \cdot \ln \frac{P_{2a}}{P_{1a}} / \ln \frac{T_{2a}}{T_{1a}}, \quad (3.1)$$

мұндағы $\left(\frac{\kappa - 1}{\kappa} \right)$ – газдың ауа бойынша салыстырмалы

тығыздығына $\Delta_{ауа} = \frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_{ауа}}$ және айдағыштағы газдың орта

температурасына сәйкес $t_a^{опм} = \frac{t_{1a} + t_{2a}}{2}$ алынған коэффициент

[7]. Политроптық п.э.к.-тің $\eta_{пол}^э$ эталондық мәні $\eta_{пол}^э = f(Q_{ag})_{кел}$ келтірілген сипаттаманың қисық сызығы бойынша әртүрлі ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттар үшін анықталады. Осы қисық сызық бойынша ұқсастық шартқа сәйкес нүктені алу үшін, ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттар арқылы өлшенген газдың келтірілген көлемдік шығыны төмендегі формуламен есептеледі:

$$(Q_{га})_{кел} = \left(A_k \sqrt{\frac{\Delta P_a}{V_a}} \right) \cdot \frac{n^H}{n^{ak}}, \quad (3.2)$$

мұндағы A_k – ортадан тепкіш газ айдағыш агрегат конфузторының коэффициенті ($A_k=0,25\dots0,30$): n^H – еркін күштік газ турбины айналу жиілігінің номиналдық мәні; v_a – айдағышқа кірердегі газдың меншікті салмағы;

ΔP_a – айдағыштың конфузторындағы қысым айырымы. Агрегаттың техникалық күйінің коэффициенті $K_{\eta a}$ келесі теңдеуден табылады.

$$K_{\eta a} = \frac{\eta_{пол}^{ak}}{\eta_{пол}^э}, \quad (3.3)$$

мұндағы $\eta_{пол}^{ak}$ – ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардағы газдың сығылуындағы нақты политроптық п.э.к.-ті (3.1) – теңдеуі бойынша анықталған:

$\eta_{пол}^э$ – айдағыштың эталондық политроптық п.э.к.-ті. $K_{\eta a}$ – мәнінің бірлік шамадан ауытқуы айдағыштың ішкі өткізу бөлігіндегі шығынның көбеюіне байланысты ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың сипаттамаларының нашарлауын білдіреді.

Айдағыштың келтірілген сипаттамасынан алынған п.э.к.-тің эталондық мәнін $\eta_{пол}^э$ оның номиналдық $\eta_{пол}^H$ мәнімен салыстыра отырып, ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың тиімді жұмыс режимінен ауытқу шартындағы газдың сығылу

процесінің төмендеуін немесе айдағыштың техникалық күйінің өзгеруін бағалауға болады:

$$K_{жр} = \frac{\eta_{пол}^3}{\eta_{пол}^H}, \quad (3.4)$$

мұндағы $\eta_{пол}^H$ – айдағыштың номиналдық (паспорттық) п.э.к.-ті.

3.1.2. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін газ шығыны белгісіз болған жағдайда анықтау әдісі

Кейбір жағдайда, айдағыштың конфузориның коэффициенті, режим және жұмыстық мерзім бойынша тұрақсыздықта болғанда, конфузор айдағыш арқылы өтетін газ шығынын күмәнсіз анықтауға мүмкіншілік бермейді, сол себепті газдың келтірілген көлемдік шығыны қосымша жанамалы бойынша газ турбиналы қондырғының пайдаланудағы өндірген қуатымен N_e анықталады.

Ол үшін төмендегілер қажет:

1) Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттың ішкі қуатының мәнін мына формула бойынша есептеу керек;

$$N_i = 0,00981 \frac{k}{k-1} \cdot Z_a \cdot R_r \cdot (t_{2a} - t_{1a}) \cdot G_{га}, \quad (3.5)$$

мұндағы $\frac{k}{k-1}$ – ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардағы

газдың орта температурасына және газдың ауа бойынша салыстырмалы тығыздығына $\Delta_{ауа}$ – байланысты анықталатын коэффициент; Z_a – табиғи газдың айдағыштағы сығылу коэффициенті; R – газ тұрақтылығы; $G_{га}$ – айдалатын газдың массалық шығыны; t_{1a} және t_{2a} – айдағышқа кіре берістегі және шығардағы газдың температуралары;

2) Айдағыштың келтірілген салыстырмалы ішкі қуатының мәнін есептеу

$$\left(\frac{N_i}{v_{га}} \right) = \frac{n^H}{n} \cdot \frac{N_i}{v_{га}}, \quad (3.6)$$

мұндағы n^H , n – айналу жиілігіне сәйкес номиналды және өлшелінген (нақтылық) мәндер;

3) газ айдағыш агрегаттардың типіне және келтірілен сипаттамасы бойынша

$$\left(\frac{N_i}{V_{га}}\right)_{\text{кел}} = f(Q_{га})_{\text{кел}}, (Q_{га})_{\text{кел}}\text{-нің мәнін анықтау; } 3,3 \text{ және } 3,4$$

формулалары бойынша $K_{га}$ және $K_{рс}$ мәндерін анықтау.

3.2. Энергожетекті газ айдағыш агрегатының пайдаланатын қуатын анықтаудың әдістері

Энергетикалық көрсеткіштерді анықтаудың күрделік деңгейіне және табылған нәтижелердің дәлдігіне байланысты энергожетектілі (ГТҚ) газ айдағыш агрегаттарының қуатын анықтауға арналған бірнеше әдістер бар. Қазіргі кезде айдағыштың және газ турбиналы қондырғының өткізуші бөліктерінің техникалық күйлерін және қуаттарын анықтауда, әдістемелік көрсеткіштермен нұсқаулар егжей-тегжейлік жасалған. Осыған орай газ айдағыш агрегаттардың қуаттарын анықтаудың төмендегідей әдістері бар;

$$1) \text{ турбинадағы газдың ұлғаю дәрежесі } \pi_T = \frac{P_{1T}}{P_{2T}} \text{ дәрежесі}$$

бойынша, бұл кезде алдымен әр типті газ айдағыш агрегаттар үшін кейбір қажет коэффициенттер анықталады; 2) заводтық берілгендерді (сызықтарды) және қосымша жөндеу коэффициенттерін (қарапайым циклді ГТҚ-лар үшін) пайдаланып,

$$\text{осьтік компрессордегі сығылу дәрежесі } \pi_K = \frac{P_{2K}}{P_{1K}} \text{ бойынша;}$$

3) компрессордың кіре берісіндегі конфузорды баламалаудағы берілгендерді пайдаланып, ауа шығыны $G_{ауа}$ бойынша;

4) ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың параметрлері және ондағы газ шығыны бойынша (конфузордың кіре берісіндегі айырмашылығын пайдаланып);

5) айдағыштың келтірілген сипаттамасы бойынша осылардың ішінде неғұрлым қарапайым және салыстырмалы

дәлділік әдістер мыналар: компрессордағы ауаның сығылу дәрежесі бойынша (осьтік компрессордан кейінгі қысым бойынша); компрессор арқылы өтетін ауаның циклдік шығыны бойынша.

3.2.1. Газ турбиналы қондырғының қуатын турбинадағы ұлғаю дәрежесі бойынша анықтау әдісі

Көрсетілген әдіс ГТ-750-6 және ГТК-10 агрегаттары үшін қолданылады. Агрегатта пайдаланатын тиімді қуат Ne қуаттылық параметрлердің мәні [7] бойынша, турбинадан кейінгі өлшенілген газ температураға t_{2T} және қысымға P_{2T} сәйкес, турбинадағы ұлғаю дәрежесіне $\pi_T = \frac{P_{1T}}{P_{2T}}$ тәуелді анықталады.

Егер турбинаға кірердегі жұмысшы дененің (газдың) температурасы t_{1T} өлшенбеген жағдайда (ГТК-10 агрегаттары үшін), оның мәні компрессордегі ауаның температурасы және сығылу дәрежесі $\pi_K = \frac{P_{2K}}{P_{1K}}$ бойынша анықталады. Бұл жағдайда

π_K мәнін анықтау үшін, жанамалы (қосымша) компрессордан шығатын ауаның қысымын P_{2K} және газ турбиналы қондырғының кіре берістегі күре жолындағы кедергіні $\Delta P_{ГТҚ}$ анықтауға тура келеді.

Турбинаға кіре берістегі газдың қысымы P_{1T} белгілі кезде, компрессордан шығатын ауаның қысымы P_{2K} мына қатынастан анықталуы мүмкін:

$$P_{1T} = K \cdot P_{2K}, \quad (3.7)$$

мұндағы $K=0,95 \dots 0,9555$

Турбинадағы газдың ұлғаю дәрежесі мына формуламен анықталады:

$$\pi_T = \frac{P_{1T}}{P_{2T}}, \quad (3.8)$$

Турбинаның ұлғаю дәрежесіне π_T тәуелді қуаттық параметр арқылы анықталған қуат Ne және t_{1T} мәндері қалыпты

атмосфералық шартқа келтірілген мәндерді анықтау үшін қолданылады:

$$Ne_{кел} = Ne \sqrt{\frac{288}{T_{1k}}} \cdot \frac{0,1003}{P_{1K(aT)}}, \quad (3,9)$$

$$t_{2T(кел)} = (t_{1T} + 273) \cdot \frac{288}{T_{1K}} - 273, \quad (3.10)$$

Турбинаға кіре берістегі номиналды температураға t_{1T}^H сәйкес келтірілген қуат, мына қатынастан анықталады (ГТ-700-5, ГТК-5, ГТК-5, ГТ-750-6, ГТ-6-6-750, ГТ-6-750, ГТК-10 агрегаттары үшін)

$$Ne_{кел} \cdot t_{1T} = Ne_{кел} + \Delta Ne_{кел}, \quad (3.11)$$

мұндағы $\Delta Ne_{кел} = K_{T1} \cdot (t_{1T}^H - t_{1T(кел)})$

Ал басқа типті газ турбиналы қондырғылар үшін

$$Ne_{кел} \cdot t_{1T} = Ne_{кел} / \bar{Ne}'_{кел}, \quad (3,12)$$

мұндағы $\bar{Ne}'_{кел} = 1 - 4.2 (1 - \bar{T}_{1T(кел)}) \cdot \bar{T}_{1T(кел)}; \quad \bar{T}_{1T(кел)} = T_{1T(кел)} / T_{1T}^H$

Коэффициент K_{T1} мәні ГТ-750-6 үшін $K_{T1}=23,5$ ал ГТК-10 үшін $K_{T1}=36$ [7]

Газ турбиналы қондырғының қуаты бойынша техникалық күйінің коэффициенті мына формула бойынша анықталады:

$$K_H = \frac{Ne_{кел}^{t_{1T}^H}}{Ne^H}, \quad (3.13)$$

мұндағы $Ne_{кел}^{t_{1T}^H}$ – тиімді ақиқаттық қуат, Ne^H – паспорттық (номиналды) қуат.

Егер агрегатты сынау бірнеше режимде өткізілетін болса, онда табылған $Ne_{кел}^{t_{1T}}$ және $t_{1T(кел)}$ мәндері бойынша, $Ne_{кел}=f(t_{1T(кел)})$ тәуелділік графигі тұрғызылады. Тұрғызылған сызықта номиналды температураға t_{1T}^H сәйкес нүктені табады, содан кейін графиктен $Ne_{кел}$ мәні алынады, сосын (3.13) формуласы бойынша коэффициент K_N анықталады [7].

3.2.2. Газ турбиналы қондырғы қуатын компрессордың сығылу дәрежесі және газ айдағыш агрегаттарының сипаттамасы бойынша анықтау әдістері

Келтірілген әдіс негізінде ГТ-6-750 және ГТН-6 агрегаттары үшін қолданылады. Пайдаланатын қуатты және техникалық күйдің коэффициентін K_H есептеу үшін, керекті алдындағы формулалар 3.2 және 3.3 тармақтарында (параграфтарында) келтірілген. Пайдаланылатын тиімді қуат – қуаттық параметр мәндері бойынша, турбинадан шығатын өлшенілген температураға t_{2T} сәйкес, компрессордегі сығылу дәреже Π_k және барометрлік қысым $P_{ат}$ арқылы анықталады. Жоғарыда көрсетілген агрегаттар үшін тікелей турбинаның алдындағы температураны өлшеу көптеген қателіктермен байланысты, сондықтан оның мәні жанамалы түрде t_{2T} және Π_k бойынша анықталады. Қуаттық параметрлер арқылы табылған қуаттың Ne және температураның t_{2T} мәндері қалыпты атмосфералық шартқа келтіріледі (3.9) және (3.10) формулалары бойынша, содан кейін турбина алдындағы температураның t_{1T}^H номиналды мәніне сәйкес (3.11) формуласы бойынша келтірілген қуаты $Ne_{кел}^{t_{1T}}$ анықтайды.

Бұл кезде $\Delta Ne_{кел}^{t_{1T}}$ қуаттың түзету мәні мына қатынас арқылы анықталады:

$$\Delta Ne_{кел} = 23 \cdot (t_{1T}^H - t_{1T(кел)}), \quad (3.14)$$

Газ турбиналы қондырғының қуаты бойынша техникалық күйінің коэффициенті (3.13) формуласымен есептеледі. Газ

турбиналы қондырғының қуатын айдағыштағы газ параметрлері бойынша анықтау әдісі.

Келтірілген әдіс негізінде ГТ-6-750, ГТ-750-6, ГТК-10, ГТН-6 агрегаттар үшін қолданылады. Бұдан газ турбиналы қондырғының пайдаланушылық қуаты ортадан тепкіш газ айдағыштардағы айдалатын газдың параметрлеріне сәйкес анықталады. Бұл жағдайда пайдаланатын қуат.

$$N_e = N_i + N_{mex}, \quad (3.15)$$

мұндағы N_i – ортадан тепкіш газ айдағыштардың пайдаланатын ішкі қуаты; N_{mex} – ортадан тепкіш газ айдағыштардың мойынтіректеріндегі механикалық шығындарға жұмсалған қуат ($N_{mex}=100\text{Вт}$). Жалпы негізінде ортадан тепкіш газ айдағыштардың ішкі қуаты N_{ia} өлшенілген газ шығыны және айдағыштағы сығылатын табиғи газ энтальпиясының айырмашылығы бойынша анықталады:

$$N_{ia} = 0,00981 \frac{k}{k-1} \cdot Z_a \cdot R_g \cdot (t_{2a} - t_{1a}) \cdot G_{ga}, \quad (3.16)$$

мұндағы $\frac{k}{k-1}$ – ортадан тепкіш газ айдағыштардағы газдың

орта температурасына және газдың ауа бойынша салыстырмалы тығыздығына $\Delta_{ауа}$ байланысты анықталатын коэффициент [7]; Z_a – табиғи газдың айдағыштағы сығылу коэффициенті; R – газ тұрақтылығы; $G_{га}$ – ортадан тепкіш газ айдағыштардың конфузторының көмегімен анықталатын газдың массалық шығыны.

Ортадан тепкіш газ айдағыштарға сәйкес келтірілген сипаттамалар бойынша, керекті ауқымдағы келтірілген көлемдік

шығынға $Q_{a(кел)} = \frac{n^H}{n} \cdot Q_a$ байланысты политроптық п.э.к.-нің

эталондық мәні табылады, сосын оны арнаулы кесте бойынша коэффициент $\frac{k}{k-1}$ -ді анықтауға пайдаланады [7]. Содан кейін

айдағыштың политроптық п.э.к.-тін мына формула бойынша есептейді:

$$\eta_{пол}^{ак} = \left(\frac{\kappa - 1}{\kappa} \right) \cdot \ln \frac{P_{2a}}{P_{1a}} / \ln \frac{T_{2a}}{T_{1a}}, \quad (3.17)$$

Егер табылған п.э.к.-тің ауқымында сәйкес келсе, онда кесте бойынша табылған $\frac{k}{k-1}$ мәнін дұрыс деп есептеуге және де есептеуді ары қарай жалғастыра беруге болады, әйтпесе $\eta_{пол}^{ак}$ (3.17) формулаға сүйене отырып, $\frac{k}{k-1}$ коэффициенттің жаңа мәнін табуға болады [7].

Белгілі Ne және t_{1T}^H мәндері бойынша, K_N техникалық күйдің коэффициентін анықтау (3.13) формуласы бойынша алдыңғы анықталған әдістерге ұқсас жүргізіледі. Кейбір жағдайларда, әртүрлі себептерге байланысты кез келген айдағышта табиғи газдың шығынын тікелей өлшеу мүмкіншілігі болмайды, бірақ газ шығыны компрессорлық цехта немесе станцияда белгілі. Бұл жағдайда біртекті газ айдағыш агрегаттармен жабдықталған цехтар үшін, бүкіл жұмыс істейтін газ турбиналы қондырғылы компрессорлық станциялар үшін анықталады. Газ турбиналы қондырғылардың орта техникалық күйін келесі әдіспен анықтауға болады. Мәселен, жалпы коммерциалды газ шығынды $Q_{КС}(м^3/тәул.)$ компрессорлық станцияларда ортадан тепкіш газ айдағыштардың N тобы тізбектеліп жұмыс істейді, ал жалпы жұмыс істейтін газ айдағыш агрегаттардың саны m болсын. Бұл кезде бір мезгілде берілетін газ шығынымен бірге төмендегідей параметрлер өлшенеді: әр N топтағы тізбектілі жұмыс жасаушы ортадан тепкіш газ айдағыштардағы табиғи газдың айдағыштарына кірердегі және шығардағы температуралары, әр топтағы жеке m газ турбиналы қондырғының компрессорына кірердегі атмосфералық ауаның температурасы, сондай-ақ әр топтағы жеке m газ турбиналы қондырғының турбинасына кірердегі жұмыстық дененің, газдың температурасы және атмосфералық қысым.

Өлшенген нәтижелер келесідей ретпен өңделеді:

1) газ айдағыш агрегаттарға кіре берісіндегі және шығатын жердегі газдың орта температуралары есептеледі:

$$t_{1aKC}^{opta} = \frac{\sum_{i=1}^N \cdot t_{1a}^i}{N}; t_{2aKC}^{opta} = \frac{\sum_{i=1}^M \cdot t_{2a}^i}{N}, \quad (3.18)$$

2) турбинаға кірердегі жұмысшы дененің орта температурасы есептеледі;

$$t_{1T}^{opta} = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot t_{1T}^i}{m}, \quad (3.19)$$

3) компрессорлық станция бойынша ортадан тепкіш газ айдағыштардың ішкі қуаттарының қосындысы есептеледі:

$$N_{ia}^{KC} = 0,00981 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot Z_{aKC} \cdot R_e \cdot (t_{2aKC}^{opta} - t_{1aKC}^{opta}) \cdot G_{eKC}, \quad (3.20)$$

4) ортадан тепкіш газ айдағыштардың орта ішкі қуаты және газ турбины қондырғының орта пайдаланатын қуаттары анықталады.

$$N i_a^{opta} = N i_a^{KC} / m, \quad N e_{ГТК}^{opta} = N i_a^{opta} + \Delta N_{mex}, \quad (3.21)$$

Белгілі N_e кел t_{1T} және t_{1T} бойынша K_N -ді анықтау реті бұрын айтылған әдістермен ұқсас. Осы айтылғандарға байланысты газ турбины агрегатқа қажетті қуатты анықтауға мүмкіндік береді.

3.3. Газ айдағыш агрегаттарды бақылау және қорғау

3.3.1. Штаттық бақылау – өлшеуші аспаптары бойынша компрессорлық станциялардағы агрегаттардың негізгі жұмыс көрсеткіштерін анықтау

Газ айдағыш агрегаттардың және компрессорлық станциялардың жұмыс режимін бақылап айыру үшін, компрессорлық станциялардағы жұмысшы персоналдарға газ турбины қондырғы және газ айдағыштың бірнеше негізгі параметрлерін бақылау және анықтау керек.

Бұлай пайдаланудың жағдайдағы газ турбины қондырғы және газ айдағыш агрегаттардың элементтерінің сипаттамаларының (компрессордың, турбинаның, регенератордың, ротордың т.б) өзгеруін қадағалап білуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұлар газ турбины қондырғы және газ айдағыштың энергетикалық және экономикалық көрсеткіштерін арнаулы бақылау-өлшеу приборларымен нақты анықтауға мүмкіндік береді.

Компрессорлық станциялардағы газ турбины қондырғының және газ айдағыштың жұмыстарын бақылау үшін, ең алдымен агрегаттардың келесі параметрлерінің шамаларын білу қажет:

- 1) сыртқы ауаның қысымы $P_{\text{ауа}}$ және температурасын $t_{\text{ауа}}$;
- 2) осьтік компрессорға кірердегі ауа қысымы P_1 және температурасын t_1 ;
- 3) осьтік компрессордан шығардағы ауа қысымы P_2 және температурасын t_2 ;
- 4) регенератордан кейінгі ауа қысымы P_2 және температурасын;
- 5) жоғарғы қысымды турбинаның алдындағы жану өнімділігінің қысымы P_3 және температурасын t_3 ;
- 6) жоғарғы қысымды турбинамен (ЖТҚ) төменгі қысымды турбинаның (ТҚТ) арасындағы газдың қысымын P_3 және температурасын t_3 ;
- 7) төменгі қысымды турбинадан кейінгі газ қысымы P_4 және температурасын t_4 ;
- 8) жоғарғы қысымды турбина мен төменгі қысымды турбинаның және айдағыштың айналу жиіліктерін;

9) айдағышқа кірердегі және шығардағы табиғи газ қысымдары және температураларын;

10) майлау майының қысымы және температурасын т.б.

Штаттық приборлардың көрсетулері бойынша газ айдағыш агрегаттарды пайдаланудағы сипаттамаларды анықтау келесі ерекшеліктермен өткізіледі. Әдетте газ турбиналы қондырғының қуатын анықтауға керекті жұмысшы дененің (отынның жану өнімділігі) шығынын (3.22) теңдеуімен анықтайды. Бұл жағдайда газ турбинасынан өтетін жұмысшы дененің шығынын анықтау үшін, проф. Н.И. Белоконның теңдеуі қолданылады [4]:

$$G_r = \mu \cdot F_1 \cdot \delta_3 \frac{P_3}{\sqrt{T_3}} \cdot \sqrt{1 - \frac{P_3}{P_1}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot gk}{R}}, \quad (3.22)$$

мұндағы μ – жұмыс жағдайына байланысты шығын коэффициенті $\mu=0.92...0.99$; F_1 – жоғары қысымды турбинаның бірінші сатысының бағыттаушы аппаратының мойынтірегі ауданының қосындысы; P_3 және P_3 – сәйкесінше жоғары қысымды турбинаның және төменгі қысымды турбинаның алдындағы газдардың абсолюттік қысымдары; T_3 жоғары қысымды турбинаның алдындағы жану өнімділігінің абсолюттік температурасы; R – жану өнімділігінің газ тұрақтысы; δ_3 – газ турбиналарының өткізу қабілеттілігінің термодинамикалық сипаттамасы, төмендегідей жағдайлардың әсерін еске алатын көрсеткіштер: ағын процесін $n=x$, ағын режимін және турбинаның сатылық санын; ұлғаю процесінің көрсеткішін n (n –политроптық процестің көрсеткіші); x –адиабатының екінші орташа көрсеткіші. Жалпы δ_3 мәні $\delta_3 = 0,42...0,6$ қысымдардың қатынасына $\frac{P_3}{P_1}$

байланысты.

Турбина алдындағы газдың температурасы газ турбинасының өзгермелі п.э.к.-нің мәніне байланысты анықталады. Турбина алдындағы жану өнімділігінің температурасын t_3 ұлғаю кездегі политропты процестің теңдеуінен анықтаған жөн. Төменгі қысымды турбина бойынша өлшенілген төрт параметрлердің P_2, T_2, P_3, T_3 негізінде, ұлғаю

кезіндегі политроптық процестің теңдеуі қарастырылады, сосын осы теңдеуден политроптық процестің көрсеткіші n анықталады (қарапайым ГТҚ-ның P, V немесе T, S – диаграммаларын қараңыздар).

$$\frac{T_2}{T_2'} = \left(\frac{P_2}{P_{3'}} \right)^{\frac{n-1}{n}}, \quad (3.23)$$

$$\text{Бұдан} \quad \frac{n-1}{n} = \frac{\ln T_2 / T_{3'}}{\ln \frac{P_2}{P_{3'}}}, \quad (3.24)$$

Осы (3.24) теңдеуінен политроптық процестің көрсеткіші n анықталады.

Политроптық процестің теңдеуінен жоғары қысымды турбина алдындағы газдың температурасын T_3 (3.25) қатынасынан есептеуге болады.

$$T_3 = T_{3'} \cdot \left(\frac{P_3}{P_{3'}} \right)^{\frac{n-1}{n}}, \quad (3.25)$$

(3.22) теңдеуіндегі көрсетілген параметрлерді штаттық приборлармен өлшеп немесе есептеп отырып, газ тубинасы арқылы өтетін жану өнімділігінің шығынын G_{Γ} анықтауға болады. Содан кейін, G_{Γ} мәнін біле отырып, газ турбиналы қондырғының қуатын есептеуге мүмкіндік бар. Компрессорға кіре берістегі ауа шығынның $G_{\text{ауа}}$ баланс теңдеуі бойынша табылуы мүмкін

$$G_{\text{ауа}} = G_{\Gamma} - B_{\text{от}} + (G_{\text{сал}} + G_{\text{ысыр}}), \quad (3.26)$$

мұндағы G_{Γ} – турбина арқылы өткен жану өнімділігінің (газдың) шығыны; $B_{\text{от}}$ – жану камерасы бойынша отын шығыны; $G_{\text{сал}} + G_{\text{ысыр}}$ – салқындатуға кеткен және ысырап болған ауа шығындары.

Газ турбиналы қондырғының индикаторлық қуаты $N_{iГТК}$ мына теңдеу бойынша анықталады.

$$N_{iГТК} = N_{iT} - N_{iK} \quad \text{немесе} \quad N_{iГТК} = h_{iГТК} \cdot G_{aya}, \quad (3.27)$$

мұндағы N_{iT} , N_{iK} – сәйкес турбина және компрессордың индикаторлық қуаттары:

$$N_{iT} = h_{iT} \cdot G_{aya}^T; \quad N_{iK} = h_{iK} \cdot G_{aya}^K, \quad (3.28)$$

мұндағы G_{aya}^T , G_{aya}^K – сәйкес турбина және компрессор арқылы өткен ауа шығындары; h_{iT} , h_{iK} , $h_{iГТК}$ – сәйкес сығылудағы, ұлғаюудағы және төменгі қысымды турбинадағы нақты жұмыс процестеріндегі меншікті энтальпиялар (жұмыстар).

Газ турбиналы қондырғының пайдалы қуаты мына теңдеумен анықталады:

$$N_{eГТК} = N_{iГТК} - N_{mex}, \quad (3.29)$$

Ортадан тепкіш газ айдағыштың индикаторлық ішкі қуаты

$$N_{ia} = h_{ia} \cdot G_{Г(кел)}, \quad (3.30)$$

мұндағы h_{ia} – айдағыштағы газдың меншікті энтальпиясы;

$G_{Г(кел)}$ – әдетте конфузордағы газ қысымының айырмашылығы бойынша анықталатын, айдағыш арқылы өткен табиғи газдың шығыны.

Агрегаттарды пайдаланушылық жағдайларда айдағыштың ішкі индикаторлық қуаты айдағыштардың келтірілген сипаттамалары бойынша табылуы мүмкін.

(3.21) және (3.30) теңдеулерінің арақатынастарын салыстыра отырып, газ турбиналы қондырғылы айдағыш жүйесінің келтірілген механикалық П.Ә.К – ін $\eta_{мех.кел}$ табуға болады:

$$\eta_{мехкел} = \frac{N_{ia}}{N_{iГТК}} \cong 0,96...0,98, \quad (3.31)$$

3.4. Газ айдағыш агрегаттарды пайдалану кезінде техникалық күйін анықтау және тексеру

Газ турбиналы агрегатты және газ айдағышты қауіпті жұмыс режимдерден қорғау – газ айдағыш агрегаттарды автоматты түрде реттеу жүйесінің негізгі функциясы. Қорғау жүйесі – газ айдағыш агрегаттарды іске қосқанда, тоқтатқанда және өзгерген жұмыстық процесті тұрақты нормал жұмысқа келтіруде автоматты түрде орындайды. Қорғау құрылғысы апаттық жағдай төнген кезде агрегатты сынудан сақтап қызмет көрсетуші жұмысшылардың қауіпсіздіктерін қамтамасыз етеді. Апаттық режимді қорғау жүйесі агрегаты тоқтатады және апаттық дыбыс беріп, қызмет көрсетуші жұмыскерлерді ескертеді. Барлық қауіпті жағдайларда турбинаны жылдам ажыратып агрегатты тоқтатады, әсіресе қауіпті жағдай туған кезде жану камерасына берілетін отын газын тоқтатып, компрессордағы ауаны клапандар жәрдемінде сыртқа шығарады. Ауа компрессорындағы помпажға қарсы қорғануды шығарып жіберуші клапандар жәрдемінде іске асырады, компрессордан ауа сыртқа бөлініп-бөлініп шығарылып тұрады. Газ айдағыш агрегаттарды қорғау жүйесі, агрегатты майлау кезінде қысымның ауытқуынан, майдың – газдың төмендеуінен, ротордың осьтік ығысуынан, подшипниктердің температура-ларының және ротордың айналу жиіліктерінің өзгеруінен, подшипниктердің дірілінен, сонымен қатар жану камерасындағы оттықтың өшіп қалуынан сақтайды.

Газ айдағыш агрегаттарды автоматты басқару және қорғау жүйелерінен басқа, кешенді бақылау құрылғылары және компрессор цехтарының автоматикалары қолданылады, олар компрессорлық станцияның және газ айдағыш агрегат жабдықтарының жұмыстарын бақылап және қорғап отырады.

Мұндай кешендердің қорғау жүйелеріне төмендегілер кіреді: 1) Майлайтын май қысымымен қорғау.

Бұл қорғауда турбина және айдағыштың жүйесіндегі май қысымы төмендеп кетуіне байланысты ($<0,2\text{МПа}$) агрегатты тоқтатады. Май қысымының төмендеуі – майлау ережесін бұзады. Оның салдарынан газ айдағыш агрегаттардың подшипниктері істен шыға бастайды.

Май қысымын өлшеу электрконтакталы монометрмен (ЭКМ) өлшенеді. Подшипниктерді майлау қысымы төмендеп кеткен жағдайда басқару дыбыс береді «Аваринная давления масла». Апаттық дыбыспен бірге резервтегі май насосы қосылып, майлау жүйесіндегі май қысымын 0,4 МПа-да қамтамасыз етеді. 2) Газ турбиналы қондырғының жану камерасындағы оттықты өшіру арқылы қорғау. 3) Роторлардың ось бойымен ығысуы арқылы қорғау. 4) Газ айдағыш қуысындағы газ және тығыздауыш арасындағы («Май – газ» бен қорғау) май қысымының құламалауы (төмендеуі) арқылы қорғау. Газ айдағыштың білігінен сыртқа шығатын газды, газ айдағыштың тығыздауыш жүйесі арқылы тоқтатады.

Осы мақсатта айдағыштың бүйірлік тығыздауышысына, подшипниктің тірек төсемдеріне бірқалыпты түрде 0,15...0,25 МПа-ды қысымда май жіберіледі, ол айдалатын газ қысымынан да көп.

Май мен газ арасындағы қысым айырмашылығын тұрақты ұстап тұру үшін қысымның құлауын реттегіш қолданады.

5) Газ температурасының артуынан қорғау.

Газ температурасының жоғарылауы ағындық бөлігіндегі қалақшалардың күйіне, қалақшалы аппараттардың және басқа да күрделі бұзылуларға әкеліп соғады.

Газ температураларын термोजұптарымен өлшейді, олар төменгі қысымды турбинадан кейін немесе жоғары қысымды турбина алдында орнатылған.

6) Турбодетандардың және газ айдағыштың жоғары қысымды турбина, төменгі қысымды турбина роторларының айналу жиілігінің артықшылығынан қорғау.

Айналу жиілігінің көбейіп кетуінен, ротордағы қалақшалар үзіліп кетуі, дискілер мен құлыпшалардың бұзылуы, осьтік ығысу және подшипниктердің бұзылуына әкеп соғады. Газ турбиналы қондырғылардың және газ айдағыш агрегаттардың корпус детальдары да істен шығуы мүмкін.

Роторлардың айналу жиілігінің нормадан асып кетуін тоқтату немесе реттеу үшін әртүрлі қауіпсіздік автоматты құрылғылар қолданылады.

7) Подшипниктердің температурасы бойынша қорғау.

Подшипниктердің температурасы бойынша қорғау жүйесі температура артқан кезде апаттық ескерту дыбысын береді, оның өзі подшипниктердің бұзылуынан бабитті төсемдердің балқып кетуінен осьтік ығысулар мен дірілдердің болуынан сақтайды. Подшипниктерді температурасы бойынша қорғау, тірек подшипниктерінің төсемдеріне және таспаларына орнатылған. Кіші өлшемді кедергі өлшегіштер платиналы термоөлшегіштерімен іске асырылады. Кедергі термоөлшегіштер ескертуді (75°C) және апаттық (80°C) дыбыстарды басқару қорабына береді.

8) Дірілден қорғау жүйесі. Агрегатты дірілдеуден қорғау газ айдағыш агрегаттардың тұрқына орналастырылған датчиктердің көмегімен іске асырылады. Дірілді өлшеу үш бағытта өтеді: тік, көлденең және осьтік бағыттарда пьездатчиктерден сигналдар келеді. Дірілдің көбеюі подшипниктердің бұзылуына және майлау жағдайының өзгеруіне, ағындық бөлігіндегі айналыстағы бөлшектерінің түйісіп қалу және басқа апаттық жағдайларға әкеп соғады.

Жоғарыда көрсетілген негізгі қорғау жүйелерінен басқа төмендегілерде қолданылады:

- Агрегаттың май бағындағы тах және min май деңгейімен қорғау;

- Отын газының қысымымен қорғау;

- Турбокомпрессор білігінің айналу жиілігі $2500 \dots 4300 \text{ м}^{-1}$ (5 мин көп) күшею диапазонынан қорғау;

- Газ айдағышты помпаждан қорғау;

- Осьтік компрессорға кіре берісіндегі сиретілуден қорғау.

Қорғаушы құрылғыларды агрегатта қауіптілік жағдайлар болғанда апаттан қорғау үшін қолданылады. Қорғаушы құрылғылар турбинаны тоқтады, жану камерасына отындық газ беруді дер кезінде тоқтатып және компрессордан кейін ауаны шығарушы клапандарды тез қажет кезінде ашады. Қорғаушы жүйесі келесідей жағдайларда да қолданылады:

- төменгі қысымды турбина және жоғары қысымды турбина роторларының рұқсат етілетін айналу жиілігінің шегінен жоғарылауы;

- жоғары қысымды турбинаның алдындағы және төменгі қысымды турбиналардан кейінгі жану өнімдері (газдың)

температураларының ең жоғарғы рұқсат етілетін шамалардан артық болуы;

- турбина және айдағыштың роторларының рұқсат етілмеген осьті ығысуы;

- жану камерасындағы алаудың сөнуі;

- турбиналардың мойынтіректерін майлауға және айдағыштың тығыздаушына берілген май қысымының ұйғарылған қысым деңгейінен төмендеуі;

- отынды газ қысымының ұйғарылған қысым деңгейінен төмендеуі; ішпектердің және таянышты мойынтіректердің қалыпты температураларының белгіленген температуралар деңгейінен артуы;

- айдағыштағы помпаждық құбылыстың болуы;

- жоғары қысымды турбина және төменгі қысымды турбиналардың тұрқыларындағы температуралардың өсуі;

- газ айдағыш агрегаттардың айналу жиіліктерінің өзгеріп қобалжуы (теңселуі) және т.б.

Агрегаттарда айналу жиіліктері тахогенератордың және “турбина” деген сигнализаторлары бар тахометралық түрлендірушілердің көмегімен өлшенеді. Термोजұп (термо-электрлік түрленгіштер, термоэлектрлік пирометрлер) және қарапайым термоөлшеуіштер ағын температураларын, сондай-ақ турбина мен айдағыш металдарының температураларын өлшеуге пайдаланады.

Аса жоғары емес температураларды, мысалы осьтік компрессор алдындағы және соңындағы ауаның температурасын немесе айдағышқа кірердегі және одан шығардағы газдың температураларын кедергілі термоөлшеуіштердің көмегімен өлшейді, сондай-ақ олармен газ турбиналы қондырғылары және айдағыш мойынтіректерінің металдарының температураларын, мойынтіректерден шығатын майлау майының температурасын, турбинаның салқындату жүйесіндегі температуралары да өлшенеді.

Табиғи газ қысымын өлшеу үшін, бөлгіш ыдыстар, электрлік манометрлер қолданылады. Сондай-ақ қысымды және қысым айырымын өлшеу үшін, «Сапфир» типті тензорезисторлы түрлендіргіштер қолданады. Әртүрлі май бағының бөлігінде май деңгейін өлшеу үшін, ұшқыннан

сақтайтын деңгейлі реттеушілер немесе қалыптылы деңгейлі сигнализаторлар қолданылады.

Компрессордегі және турбинадағы мойынтіректердің дірілін қорғаушы сигнализаторлары үшін, діріл түрлендіргішті ВВК-331 типті дыбысты-бақылау құрылғысы қолданылады. Айдағыш роторының дірілін өлшеу үшін, сондай-ақ дыбыс беруде және қорғауда КСА-15 типті бақылау – сигнализаторлы құрылғысы қолданылады. Сонымен бірге, бұл аппаратура ротордың осьтік жылжуын бақылау үшін де қолданылады.

3.5. Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттарды тиімді пайдаланудың көрсеткіштері (коэффициенттер)

3.5.1. Газ айдағыш агрегаттардың сенімділік көрсеткіштері

МЕСТ-қа (ГОСТ) сәйкес газ айдағыш агрегаттардың сенімділігі көрсеткіштермен бағаланады. Газ айдағыш агрегаттардың сенімділігі – тоқыраусыздық жұмыс істеу қасиеті, берілген шарттағы пайдалану кезде көрсетілген мерзімге дейінгі. Сенімділікке кіретіндер – тоқыраусыздық ұзақ тұрақтылық және жөндеуге жарамдылық. Тоқыраусыздық – газ айдағыш агрегаттардың аралық жөндеу мерзімі кезінде жұмыс қабілеттілігінің сақталу қасиеті.

Ұзақ тұрақтылығы – жұмыс қабілеттілігінің сақталу қасиеті, шекті жағдайға келгенше тұрақтылы шарттық пайдалануда және техникалық күтудегі жөндеуде. Ұзақ тұрақтылық газ айдағыш агрегаттардың істен шығуын, профилактикалық техникалық күту және жөндеу жолын жүргізу арқылы, жұмыс қабілеттілігінің қалпына келтіруін ескертуді сипаттайды.

Газ айдағыш агрегаттардың сенімділігін бағалауда әртүрлі көрсеткіштер бар. Соның ішінде айырықша маңыздысы – агрегатты техникалық пайдалану коэффициенті – $K_{тп}$, агрегаттың дайындық коэффициенті – $K_{д}$, агрегаттың қарқынды дайындық коэффициенті – $K_{қд}$, агрегаттың істен шығу санындағы орта іс-қимылын сипаттаушы коэффициент – $T_{іш}$, агрегаттың жұмыс қабілеттілігін қалпына келтіруін сипаттайтын коэффициент – $K_{к}$.

Қазіргі уақытта газ құбырларындағы газ айдағыш агрегаттар көрсеткіштерінің сенімділігін бағалау – ол агрегаттардың пайдалану уақытына байланысты болады; агрегаттық жұмыс істеу уақыттарының қосындысы – $T_{ж}$; есеп беру аралықтағы уақыт – $T_{кт}$; агрегатты сақтау қорындағы уақыт – $T_{рез}$; агрегаттарды жоспарлық жөндеуден өтізу уақыты – $T_{ж.ж}$; агрегаттың амалсыз (еріксіз) тоқтауы – $T_{амал}$.

Есеп беру аралыққа күнтізбелік жыл T_k қабылданды. Жоғарғыда көрсетілгендер: $T_{ж}$ – берілген толық күнтізбелік жыл уақыт мерзімінде агрегаттың жұмыс істеу уақыты; $T_{кт}$ – жыл бойындағы күнтізбелік уақыт; $T_{рез}$ – агрегаттың резервте тұрған уақыты $T_{кт}$ кезінде; $T_{ж.ж}$ – агрегаттың ескертулі жоспарлы жөндеудегі тұрған уақыт; $T_{ет}$ – агрегаттың (мәжбүрлік) тұру уақыты.

$$T_{к.г} = T_{ж} + T_{рез} + T_{ж.ж} + T_{ет} = 365 \text{ күн}, \quad (4.32)$$

Осы көрсетілген агрегаттың уақыттық күйлерін салыстыра отырып, төмендегідей оның сенімділік көрсеткіштерін анықтауға болады:

1) Агрегаттың техникалық пайдалану коэффициенті

$$K_{ТП} = \frac{T_{ж}}{T_{ж} + T_{ж.ж} + T_{ет}} = 0,75...0,95, \quad (4.33)$$

Келешектегі жаңа агрегаттар үшін $K_{ТП} = 0,9...0,95$

2) Агрегаттың дайындық коэффициенті

$$K_g = \frac{T_{ж}}{T_{ж} + T_{ет}} = 0,80...0,96, \quad (4.34)$$

Келешектегі жаңа агрегаттар үшін $K_g = 0,98...0,985$

3) Агрегаттың қарқындылық (оперативтік) коэффициенті

$$K_{kg} = \frac{T_{ж} + T_{рез}}{T_{кт}} = 0,84...0,88, \quad (4.35)$$

4) Істен шығудағы жұмыстық уақыт

$$T_{иш} = \frac{T_{жс}}{N} \quad (4.36),$$

мұндағы – газ айдағыш агрегаттардың есептік кезеңіндегі істен шығу саны.

Агрегаттың жұмыс қабілеттілігін қалпына келтіруін сипаттаушы коэффициент:

$$K_k = \frac{T_{ЕТ}}{n}, \quad (4.37)$$

мұндағы n – берілген уақыт аралығындағы агрегаттың істен шығу саны.

Қазіргі газ айдағыш агрегаттардың істен шығудағы іс-қимыл коэффициенті $K_k = 3,5 \dots 4,5$ мың. сағ; орта жөндеу арасындағы қор 10...13 мың сағат; күрделі жөндеу арасындағы қор 20...25 мың сағат; газ айдағыш агрегаттардың толық жұмыс істеу қоры 100 мың сағат. Сенімділік сипаттамасы күнтізбелік жыл немесе жарты жыл үшін, сондай-ақ аралық жөндеу кезеңі үшін де анықталады. Істен шығу кенетті (бірден бұзылу) және ақырындылы болады.

Газ турбиналы қондырғының және ортадан тепкіш газ айдағыштың әртүрлі элементтерінің істен шығу себептерін және сипатын қарастырамыз. Көптеген істен шығатын топ компрессордың және турбинаның жұмысшы доңғалақтарымен байланысты. Соның ішінде едәуір орын алатыны жұмысшы доңғалақтардың дірілділіктен түбірлі қимасынан сынуы, кей кезде бірінші тістің ойысы бойынша немесе сондай-ақ шет жақтылы бұрыштардан. Бұлардағы болатын мүмкіндік себептер: қоздырмалы күштердің пайда болуы, бағыттаушы тәжілік бөлігінің жергілікті жабылуынан, сондай-ақ олардың бұрыштарының берілген кадамдарының өзгеруінен, кіргізуші бағыттаушы аппараттың мұздануынан, компрессор жұмысының тұрақсыздығы және т.б. Сондай-ақ турбинаның қалақшалары үшін негізгі істен шығудың себептері: қалақшалардың жиектерінің деформациялануы, аса температуралық қыздырылғанның нәтижесінде жергілікті жиілуі, жұмысшы доңғалақтардың қаусындық бөлігінің созылуы немесе үзілуі. Қалақшалық бөлшектердің салқындатылуы дұрыс жетілмеген турбиналар үшін, турбинаның бөлшектерінде ақаулар өте көп болады. Компрессор

және турбина доңғалақтарының зақымдалуы, олардың келте құбырларына бөтен заттардың түсуі арқылы болады. Жану камерасының және газ шығарушы келте құбырлардың қабырғаларында қабыршақтардың пайда болуы, алаудың бағыттарының аэродинамикалық өзгеру салдарынан. Осылардың себебінен компрессорлық станцияларда түтінді қабыршақтар және газ турбиналы қондырғының жану камерасының ыстықтық құбырында жарықтар пайда болады. Мойынтіректілік түзілімдер және тістілік берілістер үшін төмендегілерді айта кету қажет: таяныш құрсауының біркелкі жүктемесінің болмауынан, едәуір осьтік динамикалық күштің әсерінен таянышты мойынтіректері зақымдалады: сондай-ақ ротордың жоғарылы дірілдігінен тіректілі мойынтіректілер істен шығады және майлау майымен камтамасыздандырылуының төмендеуі арқасында және т.б. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардың айрықша істен шығуы және бұзылуының болуы:

- “май-газ” жүйесіндегі қысым айырымының ғайып болуы, білікті тығыздаушы элементтердің бұзылуы немесе шамадан тыс тозуынан;
- ротордың таяныш мойынтірегінің зақымдалуы, соның арқасында осьтік ығысу болуы мүмкін;
- шет жақтағы жабдықтаушы дискі бөлігінің немесе қалақшалы диффузорлы жұмыс дискінің сатысындағы ұлудың дірілділіктік жарылуымен сынуынан;
- жұмысшы доңғалақтың бүршіктілі тозуы;
- тойтармалардың босауы және олардың қирауы.

Газ айдағыш агрегаттардың сенімділігін қамтамасыздандыру бойынша, барлық істелетін жұмыстарды және шараларды құрылымдықтарға, технологиялықтарға, өндірістілікке және пайдаланушылыққа бөлуге болады. Табылған нақты тоқыраулардың пайда болу себебін қарапайымдыларға (айқындыға) және күрделіге (жасырындыға) бөлуге болады.

Газ айдағыш агрегаттарды пайдалануда қалақшаларды, роторды, жұмысшы доңғалақтарды және басқа да айналушы бөлшектерді ерекше мұқият әртүрлі бақылау әдістері қарастырылған.

3.5.2. Газ айдағыш агрегаттарды тиімді пайдаланудағы көрсеткіштер

Компрессорлық станциялардағы газ айдағыш агрегаттарды бағалау кезде келесідей негізгі көрсеткіштерге сүйену керек: орнатылған қуатты пайдалану коэффициентіне ($K_{п.к}^{Г\Delta\Delta}$), газ айдағыш агрегаттың қуаты бойынша жүктемелі коэффициентіне ($K_{ж}^{Г\Delta\Delta}$) және орнатылған агрегатты пайдалану коэффициентіне ($K_{о.а}$).

Компрессорлық станциялардағы газ айдағыш агрегаттардың орнатылған қуатын пайдалану коэффициентін ақиқаттық өндірілген жұмыстың ($L_{ж}$) немесе энергожетек қуатының ($N_{ж}$) қарастырылған пайдалану мерзіміндегі жұмысына (қуатына) қатынасы ретінде немесе паспорттық (номиналдық) жұмыс режиміндегі (қуаттағы) күнтізбелі (календарлық) уақыт кезеңіндегі ($T_{к}$) шартты орнатылып пайдаланылған газ айдағыш агрегаттардағы ($n_{орн}$) өндірілген ($L_{ном.орн}$) немесе ($N_{ном.орн}$) қатынасы ретінде қарастырылып анықталады:

$$K_{ж}^{Г\Delta\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{жi}}{L_{ном.орн}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{жi} \cdot T_{жi}}{N_{ном.орн} \cdot T_{к.т}}, \quad (4.38)$$

мұндағы $N_{жi}$ – жеке агрегатты „і“ іске қосудан кейінгі жұмыс уақытындағы тиімді қуаттың орта мәні; n – қарастырылған жұмыс мерзімдегі агрегаттарды іске қосу саны; $N_{ном.орн}$ – агрегаттардың номиналдық (паспорттық) қуаты.

Газ айдағыш агрегаттың жүктемелі коэффициенті ($K_{ж}^{Г\Delta\Delta}$) қарастырылған жұмыс істеу мерзіміндегі ақиқаттық өндірілген жұмыстың ($L_{ж}$) немесе қуаттың ($N_{ж}$) компрессорлық станциядағы мөлшерінің, сол қарастырылған уақыт мерзіміндегі номиналдық режимінде өндірілген шамаларға сәйке қатынасына тең болады:

$$K_{ж}^{Г\Delta\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^m L_{жс}}{L_{ном.орн}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{жс} \cdot T_{жс}}{N_{ном.жс} \cdot T_{жс}}, \quad (4.39)$$

Орнатылған газ айдағыш агрегаттарды пайдалану коэффициенті ($K_{п.а}$) қарастырылған мерзімдік кезеңдегі, барлық газ айдағыш агрегаттардың номиналдық режимде өндірген жұмыс (қуатының) мөлшерінің, сондай мерзімдік күнтізбелік кезеңдегі (T_k) компрессорлық станцияда орнатылған газ айдағыш агрегаттардың паспорттық режиміндегі жұмысының мөлшерлік қатынасына сәйкес тең болады:

$$K_{жс}^{ГАА} = \frac{L_{ном.бер}}{L_{ном.орн}} = \frac{N_{ном.бер} \cdot \sum_{i=1}^n T_{жс}}{N_{ном.орн} \cdot T_{к.т}} \quad (4.40)$$

мұндағы $N_{ном.бер}$ – берілген номиналдық қуат (сыртқы ауаның температурасы өзгергенде өзгереді), $N_{ном.орн}$ – номиналды (паспорттық) орнатылған қуат.

Келтірілген коэффициенттер компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттың ақиқаттық резервтік қуатын анықтағанда ыңғайлы. Резервтік қуаттың жобалау коэффициенті деп $K_p^{жсб}$ – компрессорлық станциядағы барлық қондырылған газ айдағыш агрегаттардың паспорттық қуатының, компрессорлық станциядағы барлық жұмыс істейтін газ айдағыш агрегаттардың паспорттық қуатына қатынасын айтады:

$$K_p^{жсб} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{орн}} N_{ном.кон}}{\sum_{i=1}^n N_{ном.жс}} \quad (4.41)$$

мұндағы $n_{кон}$ – қондырылған агрегаттар саны; $n_{жс}$ – компрессорлық станциядағы жұмыс істейтін агрегаттар саны. Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттарды пайдалануды таңдағанда компрессорлық станцияның ақиқаттық резервтік деген қуаты қолданылады, бұл барлық қондырылған газ айдағыш агрегаттардың қуатының орта жүктемесіне ($N_{орта}^{КС}$) қатынасын, қарастырылған кезеңдік пайдаланудағы агрегаттардың еріксіз тоқтап тұрудағы ($K_{с.т}$) және газ айдағыш

агрегатты жоспарлы – алдын ала жөндеу мерзімін жүргізудегі ($K_{жөн}$) уақыттарын еске алғандағы қуат.

$$K_p^{ак} = K_{e.m} \cdot K_{жон} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_{опт}} N_{ном}}{\sum_{i=1}^{n_{жс}} N_{опт}}, \quad (4.42)$$

$$K_{e.m} = 1 - \left(\frac{T_{ан.ток}}{T_{К.Т}} \right); \quad K_{жон} = 1 - \left(\frac{T_{ж.ж}}{T_{К.Т}} \right), \quad (4.43)$$

мұндағы $T_{ан.ток}$ – агрегаттардың апаттық тоқтаудың әсерінен тоқтап қалу уақыты; $T_{ж.ж}$ – жоспарлы алдын ала жөндеуге жұмсалған уақыт; $T_{К.Т}$ – газ айдағыш агрегаттың күнтізбелік жұмыс мерзімі.

Қондырылған (паспорттық) қуаттың ($N_{ном.кон}$) орнына берілген қуат ($N_{ном.бер}$) түсініктемесін кіргізудің себебі, пайдалану шартына да энергожетектің (ГТК) қуаты анағұрлым сыртқы ауаның температурасына тәуелді болады. Компрессорлық станциядағы агрегаттардың саны негізінде газ айдағыш агрегаттардың жұмысшы және резервтік сандарының қосындысымен анықталады. Олай болса (4,42) қатынасын мынадай түрде жазуға болады.

$$K_p^{ак} = K_{e.m} \cdot K_{жон} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_{жс}} N_{ном.жс} \cdot \sum_{i=1}^{n_{жс}} N_{ном.рез}}{\sum_{i=1}^{n_{жс}} N_{опт}}, \quad (4.44)$$

Бір типтілік газ айдағыш агрегаттардан (әдетте төрт жұмысшы, бір резервтік) тұратын компрессорлық станциялар үшін, компрессорлық станцияның ақиқаттық резервтік қуаты.

$$K_p^{ак} = K_{e.m} \cdot K_{жон} \cdot \left(\frac{n_{кон}}{n_{жс}} \right) \cdot \left(\frac{1}{K_{жс}^{КС}} \right) = 1,25 \cdot K_{e.m} \cdot K_{жон} \cdot \left(\frac{1}{K_{жс}^{КС}} \right), \quad (4.45)$$

Магистральды газ өткізгіштеріндегі компрессорлық станциясындағы газ айдағыш агрегаттарды пайдалану тәжірибесі мынаны көрсетеді: $K_{e.t} = 0,97 \dots 0,98$, $K_{жүк} = 0,85 \dots 0,87$, $K_{жөн} = 0,9$.

Келтірілген қатынастар компрессорлық станцияның ақиқаттық резервтік қуатын анықтауға мүмкіндік береді, климатикалық шарттардың (t_{aya}) өзгеруіне тәуелді немесе компрессорлық станцияның орналасу орнына байланысты. Сонымен бірге, коэффициенттердің $K_{e.t}$, $K_{жөн}$ және (3.43) қатынасының көмегімен компрессорлық станциядағы керекті орнатылатын газ айдағыш агрегаттардың санын анықтауға болады, егер берілген газдың айдау мөлшері және жұмыс істейтін агрегаттардың өнімділігі белгілі болса.

4. ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ КЕЗІНДЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ

4.1. Жалпы жағдайлар

Табиғи газ – экологиялық тұрғыдан қарағанда таза отын түріне жатады, қазіргі заманғы техника және технологиялардан шығарылатын газ қышқылдарынан атмосферадағы деңгейін негізінен азайтады. Өндіріс орнында қолданылатын отын түрлерінен бөлінетін көмір қышқыл газының реактивті атмосфераға шығарылуы әртүрлі, мысалы табиғи газды жаққанда одан бөлінген көмір қышқылының шамасы мазутпен салыстырғанда 250–30 % төмен болса, көмір отынмен салыстырғанда 40–50% -дан төмен.

Ең алдыңғы қатарлы мемлекеттердің болжаулары бойынша табиғи газды пайдалану II ғасыр ортасында дүниежүзі бойынша энергобаланстың 30%-ын құрайды екен.

Компрессорлық станцияның технологиялық жүйелерінде және жабдықтарын пайдаланудағы олардың қоршаған ортаға тигізер әсері мол, оған төмендегілер жатады:

- зиянды заттарды атмосфераға шығаруы;
- ластанған заттарды суға жіберу;
- улы (зиянды) қалдықтар;
- топыраққа және жер байлығына әсері;
- дыбыс және т.б

Осыған байланысты экологиялық қызметтің негізгі мақсаты, ол компрессорлық станциялардағы газ айдағыш агрегаттардың жұмысын бақылау арқылы оларды реттеу.

Магистральды газ құбырларда ең көп тараған жабдықтарға жатады, олардың үлесі 75 %-дан көп және 85 %-ы қуаттылығы жағынан. Компрессорлық станциядағы, газ турбиналы қондырғылардың жұмыс кезінде табиғи газдан жанып шыққан өнімдегі зиянды заттардың құрамын NO, CO, CO₂ және басқа лас заттар құрайды.

4.2. Агрегаттардан атмосфераға шығатын зиянды заттар

Компрессорлы станциялардан атмосфераға шығатын зиянды заттарды негізінде екі топқа бөлуге болады:

- табиғи газдың шығуы (эмиссия);
- жанған өнімінің (ГТҚ-дағы газдардың) шығуы;

Магистральды газ құбыры арқылы табиғи газды тасымалдаудағы оның шығынының жалпы шамасының бөлінуін төмендегі қатынастар түрінде көруге болады:

1) компрессорлы станциялардағы табиғи газ шығынының жалпы шамасы – 100%;

2) газ айдағыш агрегаттарды іске қосуда және тоқтатуда (турбодетандер айдағыштың құрамы) – 73%;

3) ысыраптар (фугитивтік шығындар) – 17%;

– қатайтырушы арматураның қымтағышы – 1,86%;

– ернемелікті және бұрандалы жалғау – 0,47%;

– қорғаушы клапандар – 2,9%;

– шығарушы арматура бекітпесінің тығыздаушысы – 7,67%;

– компрессордың тығыздаушысы – 2,81%;

– басқа технологиялық жабдықтар – 1,29%;

4) жөндеу жұмыстары, апаттық жағдайлар және басқалар – 6%;

5) топыраққа және жерастына әсері;

6) шуыл.

Компрессорлы станциялардағы метанның негізгі шығын (эмиссиясының) түрлерін және көздерін төмендегідей категорияларға топтастыруға болады:

а) жоспарлы (жобалы) эмиссия, яғни газдың атмосфераға шығуы, күнделікті жабдықтарды технологиялық пайдалануға қажетті, технологиялық қондырғыларды стандарттық шарттарға пайдалануға байланысты.

Негізгі шығулардың, шамасы ол табиғи газ жабдықтардың тығыздығынсыз арқылы болатын тұрақты және арнаулы істелмеген ысыраптар. Бұл түрдегі эмиссияның шамасын газ айдағыш агрегаттарды іске қосуда және тоқтауда анықтауға болады. Бұл кезде осы шығындардың орта шамалары төмендегі берілгендермен сипатталады [10]:

– Газ айдағыш агрегаттарды іске қосу және тоқтатудағы газ шығыны – 100% (5264 Нм³);

–Турбодетандардың жұмысындағы газ шығыны – 77,9 % (4100 Нм³);

–Айдағыштың қарамын үрлеудегі газ шығыны – 1,2 % (6Нм³);

–Айдағыштың қарамынан шығатын газ көлемі – 20,0% (1053Нм³);

–Агрегатты іске қосу және тоқтату ритміндегі импульстік газ шығыны – 0,9% (50Нм³).

Осыдан көрінетіні газдың ең көп шығыны – турбодетандардың жұмысында және айдағыштың қарамынан шығардағы кезде болады. Технологиялық операциялар жасалғанда бұл шығындардың көлемі шамамен 96...98% құрайды, бұл барлық шығындармен салыстырғандағы көрсеткіш.

б) Газ тасымалдаушы жүйедегі объектілерді пайдалану және жөндеу жұмыстарына байланысты жүргізілетін кезеңді жоспарлы жұмыстардағы эмиссия. Компрессорлы станциялардағы технологиялық жабдықтарды пайдаланудағы газдың көп шығу тозаң ұстағыштарда болады. Тозаң ұстағыштарды үрлеу кезіндегі газ шығынының көлемін анықтаушы негізгі факторларға жататындар:

– тозаң ұстағыштарды үрлеудегі технологиялық жоғалу (ашу, жабу);

– үрлеудің түрі (қалдық, автоматтық);

– тозаң ұстағыштардағы газдың жұмыстық қысымы;

– үрлеу жиілігінің ұзақтығы.

в) Жабдықтардың тығыздығынсыз жобалауы арқылы болатын тұрақты және басқа да табиғи газ шығындары фугитивтік (диффузиялық) шығарылу. Бұл типті эмиссияның шамасын тікелей өлшеулік жүргізу жолымен анықтауға болады.

г) Апаттық шығарулар, бұл компрессорлы станция жабдықтарының тығыздықтарының бұзылуында және апаттық жарылу болатын табиғи газ шығындары магистральды газ құбырларындағы негізгі апаттық жағдайлардың болу себептері: құбыр металдарының жерастында тоттануы – 39,78%, құрылыс монтаждық жұмыстардағы жарамсыздық – 19,77%, газ құбырларының механикалық зақымдалуы –14,13%, құбырлардағы

және қосылатын тетіктердегі ақаулар – 13,65%, пайдалану тәртібінің бұзылуы – 9,03% .

Компрессорлық станциядағы газ турбинылы қондырғыдан шығатын газдардың құрамындағы жану өнімдерін қарастырамыз. Табиғи газдың (метанның) шығарылуынан басқа, компрессорлық станцияда газ айдағыш агрегаттарда және қазандылы қондырғыларда табиғи газ жануының нәтижесінде пайда болатын зиянды заттардың шығарылуы болады.

Бұларға кіретіндер:

- жану өнімдері – азот, су булары, көмір қышқыл газы;
- азот тотық;
- екі тотықты көміртегі;
- күкірт тотықтары;
- көмірсутегі (оның ішінде толық жанбаған метан).

Көмірсутекті отынның негізгі жану өнімдеріне жататындар CO , CO_2 , H_2O , NO_x , SO_2 . Бұдан басқа, жану өнімдерінде жиі толық жанбаған көмірсутектері болады. Көмірсутекті газ CO_2 булы (парниктік) әсер туғызатын газдың санына жатады. Беттің жылулық сәуле шығаруды сіңіру арқылы атмосфералық беттік қабатының температурасының жоғарылауы. Компрессорлы станциялардағы газ турбинылы қондырғыларда табиғи газ жанғандағы жану өнімдерінде атмосфераны ластандырушы негізгі зиянды заттар болады (NO_x , CO , CO_2 , және басқалар). Зиянды зат шығарылуының мөлшері газ айдағыш агрегаттардың типтеріне тәуелді (5.1-кесте).

5.1-кесте

Әртүрлі газ айдағыш агрегаттар үшін зиянды заттардың шығарылуының CO және NO_x номиналдық шамалары

ГТҚ-ның түрі	NO_x – номиналды мәні, г/м ³	CO – номиналды мәні, г/м ³
ГТ-700-5	15,00	3,40
ГТҚ-5	15,00	3,40
ГТ-750-6	23,40	4,00
ГТ-6-750	4,77	7,15
ГТН-6	4,53	6,80
ГПА-Ц-6,3	3,87	8,30

5.1-кестенің жалғасы

ГПА-Ц-8	5,03	6,86
ГПА-Ц-16	4,44	17,70
ГТК-10	21,90	2,90
ГТРН-10	12,10	2,01
ГПУ-10	3,97	1,70
ГТН-16	7,00	7,79
ГПУ-16	4,60	2,30
ГТН-25	4,58	13,40
ГТН-10И	6,45	1,61
ГТН-25И	4,90	1,02
Центавр	5,41	2,00

Аудандық табиғи — климатикалық жағдайларға және компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттардың санына байланысты шығарылатын зиянды заттардың әсері 1-ден 6 шақырым қашықтыққа дейін тарайды. Қоршаған ортаға көбірек әсер етушілер күкірттік қосылулар көміртегі тотығы СО, азот тотықтары NO_x. Газ турбиналы қондырғыдан шығатын газдардың құрамындағы шығарылатын зиянды заттарды азайтудың негізгі жолдары конструкциялық және технологиялық шаралар.

Бірінші кезекте конструкциялық бағытқа кіретіндер:

— ескірген жабдықтарды жаңғырту, бүріккіштерді, жану камерасын;

— отынды көбірек толық жандыруды қамтамасыздандырушы құрылғыны пайдалану;

— ауа сүзгіштерді пайдалану;

— катализаторларды жаса.

Технологиялық бағытқа кіретіндер:

— жану процесін жақсарту;

— газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режимдерінің тиімділігі т.б.

Іс жүзінде құрылымдылық (конструкциялық) әдістер пайдаланылады, негізінде жану процесін тиімді пайдалануға бағытталған жану камерасын өзгерту жолымен. Атмосфералық ауаны ластаушы, әрі заттар үшін шекті рұқсат етілетін

шоғырландыру белгіленген (ШРЕШ), ол реттік және орта тәуліктік (ШРЕШ) түрдегі мәндерге ие болады.

4.3. Компрессорлық станциядан шығатын зиянды заттардан қоршаған ортаны қорғау

Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттар, қазанды және басқа жылу энергетикалық қондырғылар жұмыс істегенде атмосфералық ауаға әртүрлі зиянды заттар шығарылады, олар қоршаған ортаға және адам организміне әсер етеді. Сондықтан оларға шекті рұқсат етілетін шоғырландырулардың (ШРЕШ) мөлшері белгіленген. Соның ішінде төмендегідей көбірек кездесетін зиянды заттар алынған:

- қатты түйірлер (күйе, күл, әуе күлдері);
- көміртегі тотықтары (CO , CO_2);
- күкірт тотықтары (SO_2 , SO_3) және H_2S ;
- азот тотықтары (NO_2 , NO , N_2O , NO_x);
- көмірсутектері (CH) және олардың функциялық

туындылары.

Жану өнімдерінен қоршаған атмосфералық ортаға шығатын түтін газының құрамында зиянды заттар шамасы өте көп. Зиянды заттар су қоймасында да болады. Әдетте компрессорлық станцияда пайдаланатын су тағайындалуы бойынша шаруашылықтың – тұрмыстық және өнеркәсіптік болып бөлінеді.

Энергетикада, газ және мұнай газды өңдеуші және мұнай – газ химия кәсіпшілігінде зиянды газ тәріздес заттардан тазартудың көптеген әдістері бар.

Қазіргі уақытта суды темірсіздендіру үшін қарапайым аэрация (кей кезде сілтілендіру) соңынан кварцалық сүзгі арқылы тазалау әдіс пайдаланады. Компрессорлық станциядағы тұнбалы судың негізгі ластандырушылары: тұздар, мұнай өнімдері метанол, диэтиленгликоль (ДЭГ), шаруашылықтық тұрмыстық қалдықтар.

Тұнбалы суды тазарту арнаулы тазартушы құрылыстармен (ТҚ) тазартылады, оларды төмендегідей жіктеуге болады:

механикалық, биологиялық, тазартуға және жұқпаландырусызға дейінгі құрылыстар, тұнбалы суды өңдеу құрылысы.

Тұнбалы суларды жіберу төмендегідей өткізіледі:

- су қоймасының бетіне;
- сүзілетін алаңға;
- жерастындағы горизонтқа.

Газ тасымалдаушы кәсіпорындардың қалдықтары пайдаланатын қалдықтар және өнеркәсіптік қалдықтар болып бөлінеді. Бұл қалдықтар компрессорлық станцияны салу кезінде немесе магистральды газ құбырларын пайдалануда болу мүмкін.

Табиғи газды өндірудегі, тасымалдаудағы, сақтаудағы және өндеудегі ең бір негізгі экологиялық проблема – жердің қабаттық топырағының механикалық және химиялық ластануымен тығыз байланысты болады.

Газбен қамтамасыздандыру жүйесіндегі ең бір негізгі элементтердің бірі – ол газдарды жерастына сақтау (ГЖС) технологиясы.

Газ кәсіпшілігінде тұнбалы суларды жерастына сақтаудың әртүрлі төмендегідей әдістері бар:

- терең ұңғылар арқылы жұтушы және өнімділік горизонттарға айдау;
- жасанды жерастылы сыйымдылыққа айдау;
- цементтік ерітіндімен аздау көлемдегі булы тұнбалы суды қабаттық қалыңдыққа немесе сланецтік таужынысына айдау және т.б.

Атмосфераның шуылдық ластануы компрессорлық қондырғылардың және көліктің жұмысынан пайда болады. Қай кезде шуылдың деңгейі денсаулықты қорғау стандартынан артық болса, онда агрегаттарды күтуші қызметкерлер үшін байыпты проблемалар туады. Шу мекендеуші жануарлардың және құстардың өміріне байыпты әсерін тигізеді.

Шудың әсерімен күресудің негізгі жолдары қазіргі газ айдағыш агрегаттарда тиімділі шуды оқшаулағыштықты пайдалану, осы күнгі агрегаттарды шуды азайтатын әдістермен жаңғырту, сондай-ақ шуды шағылыстырушы қалқандарды, ағаш отырғызуды және т.б. құру қажет.

5. ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫҢ ЖӘНЕ КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯДАҒЫ ЖАБДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕР

Компрессорлық станциядағы жабдықтарды күту жұмыс істеуші магистральды газ құбырларындағы жоғары қысымдағы, жарылыстық қауіптіліктегі бөлмелерде, ауыр жүктелінген тез жүрістегі агрегаттардың және газ турбиналы қондырғының жану өнімділігінің жоғары температурасында жүргізіледі.

Сондықтан агрегаттарды күтуші қызметкер табиғи газға және жабдықтарға көңіл бөлудің тәртіптерін қатаң білу керек:

- өңделмеген табиғи газ түссіз, иісі жоқ, ауадан жеңіл;
- ауада метанның құрамы 5...15 % болғанда жарылу қауіптілігі болады;
- жабық бөлмедегі пайда болған табиғи газ, ауаны ығыстырады және адамға тұншықтыратын әсер етеді;
- бөлмедегі газдың шекті рұқсат етілетін құрамы 1% аспау керек.

Газ айдағыш агрегаттарды пайдалану бойынша техникалық нұсқауларда айтылғанға байланысты пайдаланушылықты мынадай жағдайларда тоқтату керек; бекітуші және реттеуші арматуралардың, бақылаушы приборлардың, басқарушы қалқандағы басқару және хабарлау батырмаларының, май сораптарының немесе май сүзгіштерінің бұзылуында; май шанағындағы май деңгейінің төмендеуінде немесе жүйедегі май қысымының белгіленген мәнінен төмендеуі; май немесе газдың едәуір ысырабында; автоматтық қорғаулықтың ажыратылуында; сондай-ақ газ айдағыш агрегаттың жануында және т.б. жағдайларда жабдықтардың тұтастығына және күтуші қызметкердің өміріне қауіптілік болғанда. Айтылған кемшіліктерді жұмыс істеп тұрған газ айдағыш агрегаттарда жоюға болмайды.

Резервке немесе жөндеуге шығарылған тоқтатылған газ айдағыш агрегатты технологиялық, іске қосушылық, отындық және газ құбырларынан ажырату керек. Қауіптілік жағдайда газ айдағыш агрегаттарды қосуға және технологиялық жанғыштарға және оны күштілі электр жабдықтарына ауыстырып қосуға тыйым салынады.

Агрегатты іске қосуда дайындауда керектілер:

агрегатты сырттай көзбен қарау жүргізу, жабдықты күту алаңынан құралдарды, талшық шүберектерді және т.б. заттарды алу;

- жасаған зауыттың техникалық нұсқауы бойынша газ айдағыш агрегатты іске қосуға арналған барлық операцияларды жүргізу;

- барлық қоршаулардың және сақтандырушы құрылғының барлығын және түзулігін тексеру, түгел айналатын механизмдер сақтандырушы қаптамалармен жабылу керек,

- өртке қарсы жабдықтың қолда барын және тізімін тексеру:

- агрегатты іске қосуда келесідей техникалық қауіпсіздік талаптарды сақтау керек;

- машина залында және газ айдағыштар бөлмесінде бөгде адамдардың болуына тыйым салынады;

- газ айдағыш агрегатты іске қосу тек аға инженер-диспетчердің жарлығымен рұқсат беріледі;

- агрегатты іске қосу кезінде ауаны сүзуші камераға және агрегаттың жұмыс істеуінде бөтен адамдардың кіруіне тыйым салынады;

- күйіктелу болмау үшін газ айдағыш агрегаттың ыстық оқшауланбаған бетіне жанасуға тыйым салынады;

- агрегат жұмыс істеп тұрған кезінде жөндеу жұмыстарына тыйым салынады.

Жұмыс істеп тұрған газ айдағыш агрегатты пайдалану кезінде қауіпсіздікті қамтамасыздандыру мақсатында қатайтып бекіту үшін арматураның және басқарушы органдардың жағдайы төмендегідей болуы керек:

а) коллектардан немесе айдағыштың қарамынан импульс газды алушы вентильді ашып, сосын оны қатайдырушы арматураның басқарушы түйініне жіберу;

б) импульстік байланыс жолы (түтіктер, жоғары қысымды жең) соленоидылы түзілімділі басқарушы «Ашу» гидро баллондардың немесе пневмоцилиндрлердің «Ашу» қосылған. № 3,3 бас, 5,6,9 шүмектерде «Ашпа» деген плакаттар ілінеді;

в) импульстік тізбек (түтіктер, жоғары қысымды жең) соленоидылы түзілімділі басқарушы «Жабу» гидробаллондардың немесе пневмоцилиндрлердің жалғастықтарымен «Жабу»

шүмектерімен қосылған. №1, 2, 12 шүмектерде «Жаппа» деген плакаттар ілінген;

г) жұмысшы газ айдағыш агрегаттарда №1, 2, 12 бис, 10 шүмектер ашық болуы тиісті, ал № 3, 3 бис, 4, 4 бис, 5, 6, 6 бис, 9, 11 шүмектер жабық болуы тиісті.

Резервке тоқтатылған агрегатты отындық, іске қосушылық және технологиялық газ құбырларынан ажырату керек.

Машиналық залдағы және айдағыштардың бөлмелеріндегі барлық жөндеу жұмыстары тек қана газ компрессорлы қызметі бастығының рұқсатымен және сменалық инженермен келісу бойынша жүргізілу керек.

Қазіргі компрессорлық станциялар жоғары жарылу қауіптілігін және өртену қауіптілігіне кіретін объектілерге жатады. Сондықтан ашық отта жұмыс істеуде жабдықтарды жөндеу жұмыстарын жүргізгенде жарылу қауіптілігіне және өртену қауіптілігіне айрықша көбірек көңіл аудару керек. Айрықша қауіпсіздік шараларды жоғары қысымда жұмыс жасайтын ыдыстардың ішінде жұмыс жүргізілгенде қолданады. Айдағышты ашу жұмыстары газ қауіптілік болады, сондықтан ондағы жұмыстарды жүргізу тек қана рұқсат етілген шарт бойынша жүргізіледі.

Газ кәсіпшілігінде кәсіпорындарда өрттің шығу қауіптілігі ең алдымен табиғи физика-химиялық қасиеттерімен анықталады, қайсы кезде белгілі қауіпсіздік талаптарды сақтамаған уақытта өрттің және жарылудың соған сәйкес апаттың болуы мүмкін. Табиғи газдағы жарылу қауіптілігі құбырларды, сұйық қоймаларын және апаттарды ажыратқанда газ толық шықпай олардың ауамен қосылуының нәтижесінде болады.

Адамдарға қауіпті әсер етуші өрттік факторларға ашық өрт және ұшқындар жатады; заттардың ауаның жоғары температуралары және т.б., жану өнімінің улылығы, түтін, оттегі концентрациясының төмендеуі; үйлердің, құрылыстардың, қондырғылардың құлауы және зақымдалуы, жарылуы.

Компрессорлық станцияның негізгі және жарылу және өртену қауіптілігіне ие болатын ғимараттарына және үй бөлмелеріне жататындар:

– газ бөлуші станция (ГБС) – шығын өлшеуіштер және реттеушілік клапандар бөлмесі; қалқандық және газды сырттай тазалаушы одоризациялық қондырғы;

– компрессорлы станциялар (КС) – газ моторлар, газ турбиналар, электрлі жетектеушілік қондырғылар, ортадан тепкіш айдағыш залдары; сақтау, регенерация алушы және майлау майларын таратушы бөлмелер; аккумуляторлық; трансформаторлық; газдық отындағы қазандар; химиялық зертхана; бақылау өлшеуіш аспаптары (БӨА) зертханасы және сынаптық бөлме.

Сонымен компрессорлы станцияда жұмыс істегендегі негізгі техникалық қауіпсіздік болып мыналар есептеледі:

– компрессорлы цехтағы жабдықтарды және газ айдағыш агрегаттарды пайдаланудағы техникалық қауіпсіздік;

– газ айдағыш агрегаттарды жөндеудегі техникалық қауіпсіздік;

– компрессорлы станцияларда жүргізілетін жұмыстардан болатын от және газ қауіптілігі;

– газ айдағыш агрегаттардың бөлмесіндегі айдағышты ашып бөлшектеу жұмысын жүргізудегі талаптар;

– компрессорлы станцияларды өрт қауіптілігінен қамтамасыз ету.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Волков М.М., Михеев А.П., Конаев К.А. Справочник работника газовой промышленности. —2-е изд., перераб.и доп. — М: Недра, 1989.
2. Доброхотов В.Д. Центробежные нагнетатели природного газа. — М: недра, 1972.
3. Поршаков Б.П. Газотурбинные установки: Учеб. для вузов. —М: Недра, 1992.
4. Поршаков Б.П., Халатин В.И. Газотурбинные установки на магистральных газопроводах —М.: Недра, 1974.
5. Ревзин Б.С Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. — М.: Недра, 1986.
6. Ревзин Б.С., Ларинов И.Д. Газотурбинные установки с нагнетателями для транспорта газа. Справ.пособ. — М:Недра, 1991.
7. Седых З.С. Эксплуатация газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Справ.пособ. — М: Недра, 1991.
8. Щуровский В.А., Зайцев Ю.А. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. —М.:, 1994.
9. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. — М.:, Нефть и газа, 1999.
10. Абайұлданов Қ.Н., Нұрсұлтанов Ғ.М. Мұнай мен газды өндіріп, өңдеу. — Алматы: «Альманах», 2007. 488 б.
11. Абдукаримов С.А., Төлеуов Қ.Т., Газ айдағыш агрегаттар. ОӘК., ҚазҰТУ, 2012. —1 бет.
12. Демегенов Б.Ш., Елеусинов К.Қ., Елеусинов А.Е., Мухамбеталиев Қ. Қазақстан мұнайының қайнары.1991, Гурьев.
13. Маташев М.М., Сейітов Н., Жолтаев Ғ.Ж. Мұнай және газ кәсіпшілігі геологиясының негіздері. — Алматы: 2008, 317 б.
14. Төлеуов Қ.Т., Әбдікәрімов С.Ә., Газ турбиналы жетекті газ айдағыш агрегаттардың термодинамикалық және негізгі параметрлерін есептеу. 1-бөлім. Газ турбиналы қондырғылардың термодинамикалық және негізгі параметрлерін есептеу. — Алматы: ҚазҰТУ, 2006. — 37 б. Курстық және дипломдық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар.
15. Әбдікәрімов С.Ә., Төлеуов Қ.Т. Газ турбиналы жетекті газ айдағыш агрегаттардың термодинамикалық және негізгі параметрлерін есептеу. Әртүрлі режимдегі газ турбиналы

жетекті газ айдағыш агрегаттардың термодинамикалық және техникалық-экономикалық параметрлерін есептеу. 2-бөлім. Газ турбиналы қондырғылардан дипломдық жобаны және өзіндік жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар (5B72900, 5B72400) мамандықтарының студенттеріне арналған). – Алматы: ҚазҰТУ, 2006. 49 б.

16. *Төлеуов Қ.Т., Абдукаримов С.А.* Газ турбиналы газ айдағыш агрегаттар тәжірибелік жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқау. – Алматы: ҚазҰТУ, 2007. 35 б.

17. *Абдукаримов С.А.* Мұнай және газ саласындағы гидромашиналар мен компрессорлар. ОӘК., ҚазҰТУ, 2011. – 90 б.

18. *Суербает Х.* Мұнай-газ ісінің негіздері. Оқулық. – Астана: Фолиант, 2008. 376 б.

19. *Белоконь Н.И., Поршаков Б.П.* Газтурбинные установки на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М.: Недра, 1969. 112. с. 14. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М., Недра, 1987. – 198с.

20. *Щуровский В.А. Зайцев Ю.А.* Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. – М., Недра, 1994.

21. Эксплуатация компрессорных станции магистральных газопроводов. М: Нефти и газ, 1999.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	3
1. КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯЛАРДАҒЫ (КС) ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫҢ (ГАА) ЖҰМЫС ТӘРТІПТЕРІ ЖӘНЕ КӨРСЕТКІШТЕРІ.....	5
1.1. Газ айдағыш агрегаттар пәні	5
1.1.1. Газ айдағыштарды мұнай және газ кәсіпшілігінде пайдалану.....	5
1.1.2. Газ айдағыштар үшін энергожетектеушілерді таңдау..	6
1.1.3. Табиғи газды құбырмен тасымалдаудың қазіргі жағдайы және негізгі ерекшеліктері.....	12
1.2. Компрессорлық станциялардағы газ айдағыштардың жұмыс тәртіптері.....	15
1.2.1. Газ құбырының өткізу қабілеттілігінің өзгеру сипаты ..	15
1.2.2. Газ айдағыш агрегаттарда қолданылатын газ турбиналы қондырғылардың принципиалдық сұлбалары..	19
1.2.3. Шығатын газдың жылуын регенерациялаушы газ турбиналы қондырғылардың принципиалдық сұлбасы...	22
1.2.4. Ауаны сатылы сығымдаушы және аралық салқындатушы газ турбиналы қондырғыларының принципиалдық сұлбасы.....	24
1.2.5. Жұмыстық дененің ұлғаюында оны сатылы жандырушы және ауаны аралық салқындатушы газ турбиналы қондырғының принципиалдық сұлбасы.....	25
1.3. Компрессорлық станциялардың технологиялық және ондағы газ айдағыш агрегаттардың қосылу сұлбалары.....	27
1.3.1. Компрессорлық станциялардың басты және тізбектілі қосылуларының технологиялық сұлбалары.....	27
1.3.2. Газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станцияға параллельді және тізбектілі таңғышты қосылған технологиялық сұлбалары.....	30
1.3.3. Компрессорлық станциялардағы ортадан тепкіш агрегаттардың технологиялық таңғыштық сұлбалары.....	35
1.3.4. Газ айдағыш агрегаттардың компрессорлық станциядағы қосылу сұлбаларының сипаттамалары.....	38
1.4. Табиғи газ қасиеттерінің ерекшеліктері және газ айдағыш агрегаттардағы газ ағынының аэродинамикасы.....	41

1.4.1. Табиғи газдың элементарлық құрамы және сипаты...	41
1.4.2. Табиғи газдың жану жылулығы және ауаның артық еселігі.....	44
1.4.3. Газ айдағыш агрегаттардағы газ ағынының аэродинамикасы.....	47
1.5. Компрессорлық станцияның газ құбырлары мен газ айдағыштарының арасындағы өзара байланыстар....	48
1.5.1. Компрессорлық станциядағы газ турбиналы газ айдағыштардың жұмыс режимдері	48
1.5.2. Компрессорлық станцияның және газ айдағыш агрегаттардың жұмыс режимдерінің біріккен сипаттамалары	50
1.5.3. Ортадан тепкіш газ айдағыш агрегаттардағы тұрақсыздық режимдер және помпаж	52
2. ТАБИҒИ ГАЗДЫ АЙДАҒЫШТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	54
2.1. Мұнай және газ кәсіпшілігінде қолданылатын газ айдағыштардың түрлері мен сипаттамалары.....	54
2.1.1. Ортадан тепкіш айдағыштардың (ОТА) түрлері және сипаттамалары.....	56
2.2. Табиғи газ айдағыштардың құрылымдары	60
2.2.1. Газ айдағыш агрегаттардың құрылымдық ерекшеліктері мен жұмыс принциптері.....	60
2.2.2. Ортадан тепкіш газ айдағыштардың кірерлік және шығарлық құрылғылары.....	66
2.3. Ортадан тепкіш газ айдағыштардың сипаттамалары.....	71
2.3.1. Ортадан тепкіш газ айдағыштың келтірілген сипаттамалары.....	71
2.3.2. Газ турбиналы қондырғының, ортадан тепкіш газ айдағыштардың және газ құбырларының үйлестірілген сипаттамалары.....	74
2.3.3. Компрессорлық станцияларындағы әртүрлі қосылу сұлбаларында үйлесіп жұмыс істеуші ортадан тепкіш газ айдағыштардың сипаттамалары.....	76
2.4. Газ айдағыштың білігін тығыздаушы (нығыздаушы) жүйелер.....	78
2.5. Ауаның сыртқы жағдайларының өзгеруіне тәуелді энергожетектердің және газ айдағыштардың қуаты.....	82

3. ГАЗ АЙДАҒЫШТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ КҮЙІНІҢ ДИАГНОСТИКАСЫ	88
3.1. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін анықтаудың әдістері.....	88
3.1.1. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін газ шығыны белгілі болған жағдайда анықтау әдісі.....	90
3.1.2. Газ айдағыш агрегаттардың техникалық күйін газ шығыны белгісіз болған жағдайда анықтау әдісі.....	92
3.2. Энергожетекті газ айдағыш агрегатының пайдаланатын қуатын анықтаудың әдістері.....	93
3.2.1. Газ турбиналы қондырғының қуатын турбинадағы ұлғаю дәрежесі бойынша анықтау әдісі	94
3.2.2. Газ турбиналы қондырғы қуатын компрессордың сығылу дәрежесі және газ айдағыш агрегаттарының сипаттамасы бойынша анықтау әдістері.....	96
3.3 Газ айдағыш агрегаттарды бақылау және қорғау.....	100
3.3.1. Штаттық бақылау – өлшеуші аспаптары бойынша компрессорлық станциялардағы агрегаттардың негізгі жұмыс көрсеткіштерін анықтау.....	100
3.4. Газ айдағыш агрегаттарды пайдалану кезінде техникалық күйін анықтау және тексеру.....	104
3.5. Компрессорлық станциядағы газ айдағыш агрегаттарды тиімді пайдаланудың көрсеткіштері (коэффициенттер).....	108
3.5.1. Газ айдағыш агрегаттардың сенімділік көрсеткіштері	108
3.5.2. Газ айдағыш агрегаттарды тиімді пайдаланудағы көрсеткіштер.....	112
4. ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫ ПАЙДАЛАНУ КЕЗІНДЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫ ҚОРҒАУ	116
4.1. Жалпы жағдайлар.....	116
4.2. Агрегаттардан атмосфераға шығатын зиянды заттар.....	117
4.3. Компрессорлық станциядан шығатын зиянды заттардан қоршаған ортаны қорғау.....	121
5. ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАРДЫҢ ЖӘНЕ КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯДАҒЫ ЖАБДЫҚТАРДЫ ПАЙДАЛАНУДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТЕР	123
Библиографиялық тізім.....	127

Оқулық басылым

Қалдыбай Төлеуұлы Төлеуов
Садратдин Әбдікәрімұлы Әбдікәрімов

ГАЗ ТУРБИНАЛЫ ГАЗ АЙДАҒЫШ АГРЕГАТТАР

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З.А. Ғубайдулина</i>
Редакторы	<i>А.И. Бейсебаева</i>
Компьютерде беттеген	<i>Л.Т. Қасжанова</i>

Басуға 19.06.2013 ж. қол қойылды.
Таралымы 300 дана. 60х 84 1/16. № 1 баспаханалық қағаз.
Көлемі 8,2 есепті баспа табақ. 7,7 шартты баспа табақ.
Тапсырыс № 144

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
университетінің басылымы, Ақпараттық-баспа орталығы.
Алматы қаласы, Қ.И. Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-530-7



9

7 8 6 0 1 2 2 8 5 3 0 7