



**Коммерциялық емес  
акционерлік қоғам**

**ҒҰМАРБЕК ДӘУКЕЕВ  
АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ  
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ  
БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТІ**

Жылу энергетикалық  
қондырғылар кафедрасы

**ЗАМАНАУИ ЖЫЛУ ЭНЕРГЕТИКАСЫ НЕГІЗДЕРІ  
(МАМАНДЫҚҚА КІРІСПЕ)**

6В07103 – Жылу энергетикасы мамандығының барлық оқу түрлерінің  
студенттеріне арналған дәрістер жинағы

Алматы 2022

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: А.А. Кибарин, Т.В. Ходанова, Қ.С. Олжабаева. Заманауи жылу энергетика негіздері (мамандыққа кіріспе). 6B07103 – Жылу энергетикасы мамандығының барлық оқу түрлерінің студенттеріне арналған дәрістер жинағы.– Алматы: АЭЖБУ, 2022. – 85 б.

Дәрістер жинағы пәннің жұмыстық бағдарламасына сай жазылған. Дәрістер жинағында, пәннің бағдарламасы бойынша келесі мәселелер қарастырылған: Жылу энергетикасы саласындағы маманды оқытудың құрамдас бөлігі жылу электр станциялары және газ, атом электр станциялары жабдықтарының негізгі сандық сипаттамалары және оның көрсеткіштері, техникалық қызмет көрсету мерзімдері көрсетілген. Сондықтан дәрістер жинағында сандық материалдар мен деректер де ұсыналады. Және де жылу және электр энергиясын өндіру және тұтыну тәжірибесінде қолданылатын физикалық шамалары мен өлшем белгілері; Халықаралық бірліктер жүйесі; жылу, атом, геотермиялық және сутегі электр станцияларында бастапқы жылу тасымалдағыштардың энергиясын электр энергиясына және тауарлық жылуға түрлендірудің технологиялық процестерінің негіздері; жаңа энергетикалық жабдықты құрумен байланысты мәселелер; бу және газ турбиналарының, энергетикалық қазандықтардың және қалдық жылу қазандықтарының, ядролық реакторлардың, желілік су жылытқыштарының, конденсаторлардың және басқа жабдықтардың конструкцияларының сипаттамалары қарастырылған.

Дәрістер жинағында жылу мен электр энергия өндірудің барлық әдістері мен технологиялық процестері қарастырылған.

Дәрістер жинағы «6B07103 Жылу энергетикасы» мамандығы бойынша оқитын студенттеріне арналған.

Кесте - 8, ил. - 68, әдеб. көрсеткіші - 18 атау.

Пікір беруші: PhD, АЭЖБУ доценті

Айдымбаева Ж.А.

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» 2022 ж. баспа жоспары бойынша басылады.

© «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті», КЕАҚ 2022 ж.

## Мазмұны

Кіріспе	4
1 Дәріс. Жылу энергетикасының негіздері	5
2 Дәріс. Табиғи отынында жұмыс істейтін ЖЭС-тің құрылысы	11
3 Дәріс. Қазіргі заманғы ЖЭО-ның құрылысы және жұмыс атқаруы	18
4 Дәріс. Қуатты ЖЭО-ың жылуландыру қондырғысының құрылымы	21
5 Дәріс. Энергетикалық отын және оның жағуы	24
6 Дәріс. ЖЭС және ЖЭО қазандық қондырғыларының құрылымы және жұмыс атқару	29
7 Дәріс. АЭС-тің әртүрлерінің құрылымы және жұмыс атқару қағидасы	34
8 Дәріс. Қазіргі заманғы бу турбиналарының құрылысы	39
9 Дәріс. Қазіргі заманғы энергетикалық газ турбиналық қондырғылардың құрылысы	45
10 Дәріс. Бу-газ құрама циклді электр станциялары	50
11 Дәріс. Бу-газ турбиналық қондырғысы бар жылу электр станциялары	57
12 Дәріс. Қазақстандағы жылу энергетикасының техникалық деңгейі, жағдайы және болашағы	60
13 Дәріс. Энергетика саласында қолданылатын жаңа қондырғылар түрлері	65
14 Дәріс. Геотермалдық және күн энергиясы	68
15 Дәріс. Энергетикадағы сутегі технологияларына кіріспе	79
Әдебиеттер тізімі	85

## Кіріспе

Жылу энергетикасы механика, термодинамика, жылу алмасу, материалтану және т.б. іргелі заңдары туралы кең және жан-жақты білімге, қазіргі заманғы энергетикалық машиналар мен қондырғыларда болып жатқан ең күрделі процестерді білуге негізделген, бұл білімдерді бір адам жеке-жеке толық игере алмайтын шығар.

Осыған қарамастан, өндірісті басқару саласындағы маман энергетикалық сектордың құрылымы және оның қоршаған әлемге әсері туралы жеткілікті жақсы түсінікке ие болуы керек, барлық типтегі жылу электр станцияларының негізгі құрылымын білуі керек, бу-газ турбиналарының және аралас циклді газ қондырғыларының конструкциясы, электр станцияларының энергия өндіретін жабдықтарының негізгі сипаттамалары, олардың жұмыс істеуі, жетілдіруінің қол жеткізілген деңгейі, шешілмеген мәселелері және даму перспективалары туралы нақты түсінікке ие. Осыған орай «Заманауи жылуэнергетика негіздері (мамандыққа кіріспе)» дәрістер жазбасында қазіргі жылуэнергетикасы негізделген құбылыстар мен заңдылықтарды қолжетімді тілмен, жақсы инженерлік деңгейде сипаттау, оларды түсіндіру қажет болды. Мысалы, термодинамика және сұйықтық газдинамикасы, жылу алмасу және қазандық қондырғылары сияқты пәндерді ешқашан оқымаған студенттерге қарапайым түсіндіру қажет болды.

Дәрістер жинағындағы келтірілген материалдары пәннің жұмыс жоспары бойынша қатаң түрде қарапайымнан күрделіге қарай жүргізіледі, математикалық аппарат сирек қолданылады. Сонымен бірге автор жылуэнергетикалық жабдықтардың жұмысына тән күрделі құбылыстарды тым жеңілдетуге жол бермеуге тырысты.

Жылу энергетикасы саласындағы маманды оқытудың құрамдас бөлігі жылу электр станциялары мен атом электр станциялары жабдықтарының негізгі сандық сипаттамаларын, мысалы, тиімділік пен сенімділіктің қол жеткізілген және болашақ көрсеткіштерін, техникалық қызмет көрсету мерзімдерін жатқа білу болып табылады. Сондықтан дәрістер жинағында сандық материалдар мен деректер де ұсынады.

Дәрістер жинағы «Жылу энергетика» мамандығы бойынша оқитын студенттеріне «Заманауи жылу энергетикасы негіздері (мамандыққа кіріспе)» пәнін оқуға арналған.

## 1 Дәріс. Жылу энергетикасының негіздері

Жылуэнергетикасы - инженерлік ғылым болғандықтан, негізгі көрсеткіштерін білген дұрыс. Бұл көрсеткіштер және жылу энергетикасына қатысы бар шамалардың өлшем белгілері бар, оларды да және мәндерін білу қажет. Әр елде өзінің өлшем белгілері қолданғандықтан, бір-бірімен араласқан ғалымдар өзара түсініске келуі үшін Халықаралық өлшем бірлік қажет етті.

Жылу және электр энергиясын өндіру және тұтыну кезінде Халықаралық бірліктер жүйесі (Халықаралық өлшем бірліктері жүйесі СИ) қолданылады.

«Халықаралық бірлік жүйесі» (SYSTEM INTERNATIONAL) деген ат берілді.

Халықаралық бірліктер жүйесінің негізгі жеті бірлігі бар: метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин, кандела, моль; қосымша екі бірлігі бар: радиан, стерадиан. Алғашқы үш негізгі бірлік (метр, килограмм, секунд) механикалық табиғаты бар барлық шамалардың үйлесімді туынды бірліктерін құрастыруға мүмкіндік береді. Ал қалған төрт негізгі бірлік (ампер, кельвин, кандела, моль) механикалық табиғаты болмайтын шамалардың үйлесімді туынды бірліктерін құрастыру үшін қосылған (мысалы, ампер - электрлік және магниттік, кельвин - жылулық, кандела - жарық, моль - молекулалық физика мен химия саласындағы шамалар үшін). Ондық еселік бірліктер мен үлестік бірліктердің аталуы арнаулы қосымша жалғаулардың көмегімен құрастырылады.

Метр, килограмм, секунд бірі-бірімен үйлестіріліп қолдануы мүмкін. Бұл әртүрлі өлшемдер жасайды. Мысалы, көлем, қуат, қысым, жылдамдық дегендер үшін.

СИ жүйесінің негізгі бірліктері 1.1-кестеде көрсетілген.

1.1 кесте - Халықаралық бірліктер жүйесінің (SI) негізгі бірліктері

Атауы	Халықаралық белгілеуі	Өлшемі		
		Атауы	белгілеуі	
			қазақша	Халықаралық
1 Ұзындық	L	метр	м	m
2 Масса	M	килограмм	кг	kg
3 Уақыт	t	секунда	с	s
4 Электр ток күші	I	ампер	A	A
5.термодинамикалық температура	T	кельвин	K	K
6 Зат мөлшері	N	моль	моль	mol
7 Жарық күші	J	кандела	кд	cd

СИ жүйесі бойынша өзінің атауы бар туынды бірліктер төмендегі 1.2-кестеде көрсетілген. СИ бірліктерімен бірге қолдануға рұқсат етілген жүйеден тыс бірліктер 1.3-кестеде көрсетілген.

1.2 кесте - СИ жүйесінің өзінің атауы бар туынды бірліктері

Шамасы	Бірлік		Туынды бірлік	
	атауы	белгіленуі	СИ жүйесінің басқа туынды бірліктермен	СИ жүйесінің негізгі бірліктермен
Жиілік	герц	Гц	-	1/с
Күш	ньютон	Н	-	кг·м/с <sup>2</sup>
Қысым	паскаль	Па	Н/м <sup>2</sup>	кг·м/м <sup>2</sup> ·с <sup>2</sup>
Энергия, жұмыс, жылу	джоуль	Дж	Н·м	кг·м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>
мөлшері Қуат, энергия ағыны	ватт	Вт	Дж/с	кг·м <sup>2</sup> /с <sup>3</sup>

1.3 кесте - СИ бірліктерімен бірге қолдануға рұқсат етілген жүйеден тыс бірліктер

Шама аталуы	Бірлік	Белгіленуі
Салмақ	тонна	Т
	Салмақтың астрономикалық бірлігі	С.а.б.
Уақыт	Минут	Мин
	Сағат	Сағ
	Тәулік	Тәул
Көлем, сыйымдылық	Литр	Л
Аудан	Гектар	Га
Энергия	Электрон-вольт	эВ
Толық қуат	Вольт-ампер	В·А
Реактивті қуат	Вар	Вар
Температура	Градус Цельсия	°С

СИ (SI) өлшем жүйесінің негізгі бірліктерінің анықтамалары:

Сандық түрде, 1 °С = 1 К және Кельвиндегі температуралар Т және Цельсий градустары t келесі қатынасымен байланысты

$$T = t + 273,15 .$$

Жылу энергетикасының тәжірибесінде, тек жүз гадустық шкаланы (Цельсий градусы) пайдаланады.

СИ (SI) жүйесіндегі қысым және механикалық кернеу (денеде оған түсетін күштердің әсерінен пайда болатын) паскальмен өлшенеді (1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>).

Пайдаланушы персонал электр станциясының жабдығының жұмыс жағдайында қысымды әдетте техникалық атмосфераны пайдаланады (ат):

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па} = 98 \text{ кПа} \approx 0,1 \text{ МПа}.$$

Техникада қолданылатын техникалық атмосферадан басқа физикалық

атмосфера (атм) қолданылады:

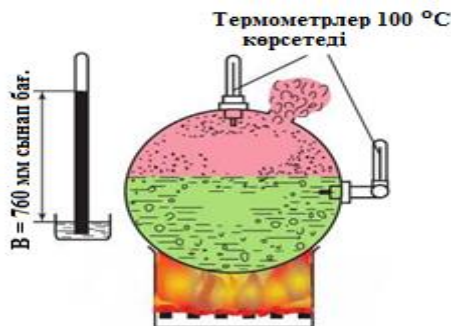
$$1 \text{ атм} \approx 1,033 \text{ ат} \approx 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Кейбір жағдайларда ыдыстардағы қысым сынап құрылғыларының көмегімен өлшенеді - сынап бағанының биіктігі (мм сынап бағ.). Мысалы, атмосфераның қалыпты қысым  $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм сынап бағ.}$  тиісінше,  $1 \text{ мм сынап бағ.} = 133,3 \text{ Па.}$

Жылу электр станцияларының көптеген жабдықтары атмосфералық қысымнан  $B$  төмен  $p$  қысымда жұмыс істейді. Олардың айырмашылығы  $H = B - p$  сиректеу деп аталады және ол тікелей құрылғымен өлшенеді.

Ыдыстағы абсолютті қысым атмосфералық қысымнан жоғары болса артық қысым пайда болады  $p_{\text{арт}} = p_{\text{абс}} - B$ . Артық қысым манометрмен өлшенген қысым. Абсолютті қысым манометрмен өлшенген қысымға барометрмен өлшенген қысымның қосындысын көрсетеді  $p_{\text{абс}} = p_{\text{арт}} + B$ . Егер, ыдыстағы абсолютті қысым атмосфера қысымынан төмен болса, бұл вакуум деп аталады ( $p_{\text{вак}} = B - p$ ). Мысалы турбина конденсаторында қысым  $5 \text{ кПа}$  болса, онда вакуум  $p_{\text{вак}} = 100 - 5 = 95 \text{ кПа}$  болады.

ЖЭС-тің көптеген элементтерінің қалай жұмыс істейтінін түсіну үшін су мен будың кейбір қасиеттерін білу қажет. Су іс жүзінде сығылмайтын сұйықтық: қысым кең ауқымда өзгерген кезде оның тығыздығы өте аз өзгереді. Егер суды ашық ыдыста қыздырса (1.1 сурет), онда белгілі бір температурада ол қайнай бастайды және оның бетінде бу пайда болады.



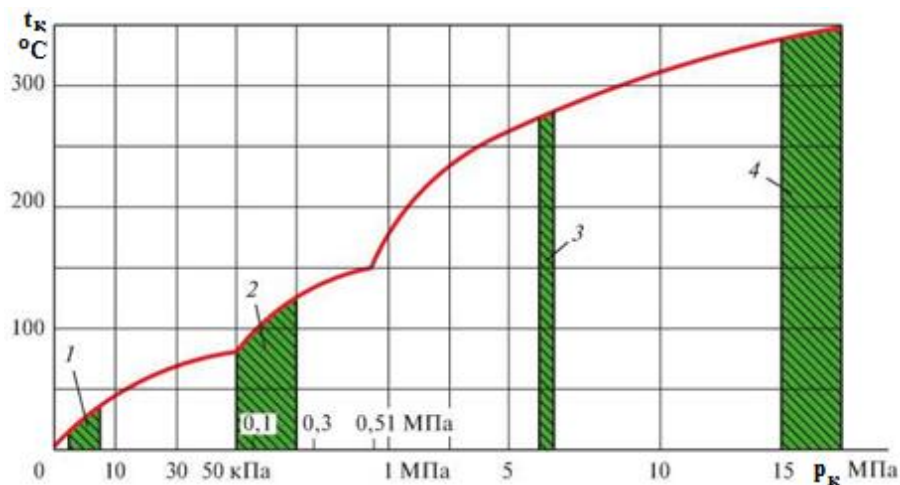
1.1 сурет - Құрғақ қаныққан будың пайда болуы

Қайнаған судың және қайнау кезінде пайда болатын будың температуралары сұйықтықтың бүкіл қайнау процесінде бірдей және өзгермейді. Егер жоғарыда сипатталған тәжірибе атмосфералық қысымда ( $760 \text{ мм сынап бағ.}$ ) орындалса, онда қайнау және булану  $100 \text{ °C}$  температурада жүреді. Бұл температура қайнау температурасы немесе қанығу температурасы деп аталады және  $t_k$  деп белгіленеді. Қанығу температурасы су бетінің үстінде тыныш қайнау кезінде құрғақ қаныққан будың пайда болуымен байланысты - су тамшылары жоқ бу.

Сонымен қанығу температурасы су бетінің үстіндегі қысыммен байланысты екені белгілі болды. Бұл байланыс 1.2-суретте көрсетілген.

Құрғақ қаныққан будың тығыздығы табиғи түрде судың тығыздығынан төмен және қанығу температурасы сияқты ол қысыммен ерекше анықталады.

Қысым неғұрлым жоғары болса, будың тығыздығы соғұрлым жоғары болады. Қысым мөлшері 22,115 МПа қысымда су мен құрғақ қаныққан будың тығыздықтары сәйкес келеді, қанығу температурасы  $t_k = t_{кр} = 374,12 \text{ }^\circ\text{C}$ , булану жылуы  $r = 0$ . Су мен будың бұл ерекше күйі критикалық деп аталады, ал олардың параметрлері критикалық ( $p_{кр}$ ,  $t_{кр}$ ) болады. Критикалық (аумалы) күйде су мен будың тығыздығы сәйкес келеді және олар негізінен ажыратылмайды.



1 - бу турбиналарының конденсаторлары; 2 - желілік жылытқыштар; 3 - АЭС бу генераторлары; 4 - заманауи қазандықтардың барабандары

1.2 сурет - Булану температурасы мен қысымның (шықтану, булану) арасындағы байланыс және жабдықтардың жұмыс аймақтары

Энергетика деп барлық түрдегі энергия ресурстарын түрлендіруге, таратуға және пайдалануға қызмет ететін ірі табиғи және жасанды ішкі жүйелердің жиынтығы түсініледі.

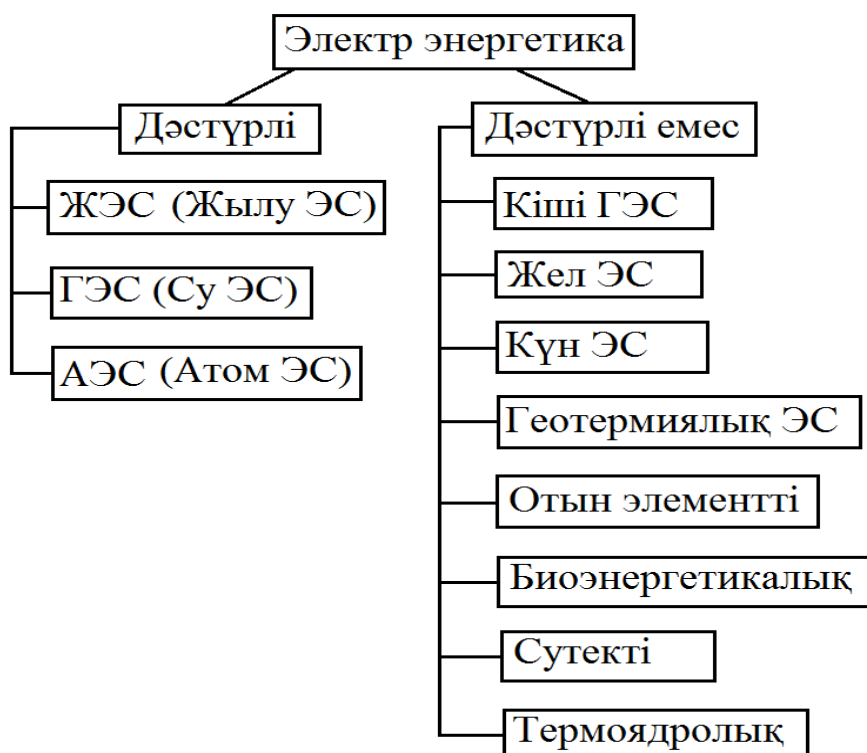
Энергетиканың мақсаты - бастапқы (табиғи) энергияны (мысалы, көмірдің құрамындағы химиялық энергия) екінші реттік (мысалы, электр немесе жылу энергиясына) түрлендіру арқылы энергия өндіруді қамтамасыз ету.

Энергияны өндіру әдетте бірнеше кезеңнен өтеді:

- энергетикалық ресурстарды табу және шоғырландыру (мысалы, ядролық отынды өндіру, өңдеу және байыту);
- энергия ресурстарын түрлендіру қондырғыларға беру (мысалы, көмірді ЖЭС-ке жеткізу);
- электр станцияларының көмегімен бастапқы энергияны екінші реттік энергияға айналдыру;
- екінші реттік энергияны тұтынушыларға беру (мысалы, электр желілері арқылы).



Электр энергетикасы әдетте дәстүрлі және дәстүрлі емес болып екіге бөлінеді. Электр энергетиканың жіктелуі 1.3-суретте көрсетілген. Кез келген жіктелу сияқты ол шартты.



1.3 сурет - Электр энергетиканың түрлері

Дәстүрлі электр энергетикасы қазбалы отынды (жылу энергетикасы), су энергиясын (гидроэнергетика) және ядролық отынды (атомдық энергетика) пайдалануға негізделген.

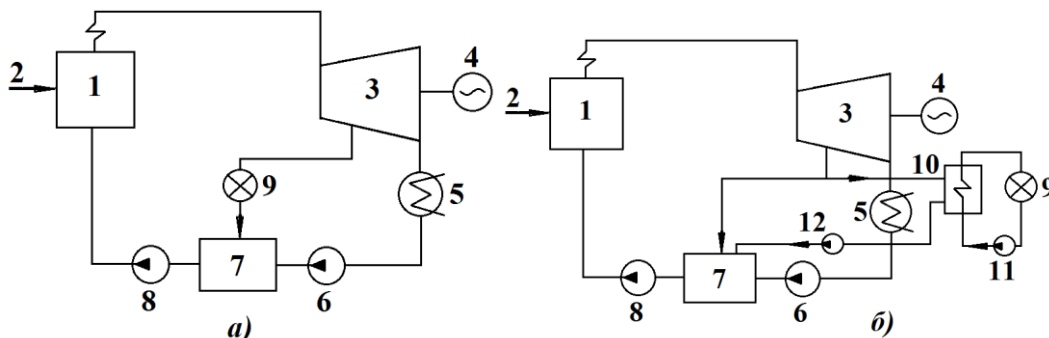
Дәстүрлі емес электр энергетикасы да көп жағдайда дәстүрлі принциптерге негізделген, бірақ олардағы негізгі (алғашқы) энергия не жергілікті көздер (жел, геотермиялық, күн электр станциялары, шағын су электр станциялары, биоэнергетикалық қондырғылар және т.б.) немесе жаңадан қолдануы басталған көздер болып табылады (мысалы, отын элементтері), немесе болашақтың көздері (термоядролық энергия).

Дәстүрлі емес энергияның ерекшелігі олардың экологиялық тазалығы, құрылыс қондырғысының айтарлықтай жоғары құны (қуаты 1000 МВт күн жылу электр станциясы 2x2 км аумақтан күн энергиясын жинауды қажет ететінін айту жеткілікті) және бірлік қуатының төмендігі болып табылады.

Жылу мен электр энергиясын бірге орталықтан өндіру жылуландыру арқылы жылумен қамтамасыз ету деп аталады. Электр энергиясымен бірге жылу электр орталығында (ЖЭО) өндірілген жылу, электр қуатынан бөлек су жылытқыш қазандықтарында өндірілген жылудан тиімді болады.

Жылуландыру арқылы энергияны тиімді пайдалануының екі қағидасы орындалады: ЖЭО-да жылу мен электр энергиясын қатар өндіру; бір ортадан жылумен қамтамасыз ету.

Егер ЖЭО-да жылыту және өндіріске бу жүктемелері болса, ол өнеркәсіптік және жылыту ЖЭО деп аталады. Өнеркәсіптік жылыту ЖЭО-да түрі «П», «ПТ», «Т» және «Р», типті турбиналары болуы мүмкін. Сондықтан олардың жылу схемалары да басқаша болады, 1.4 сурет.

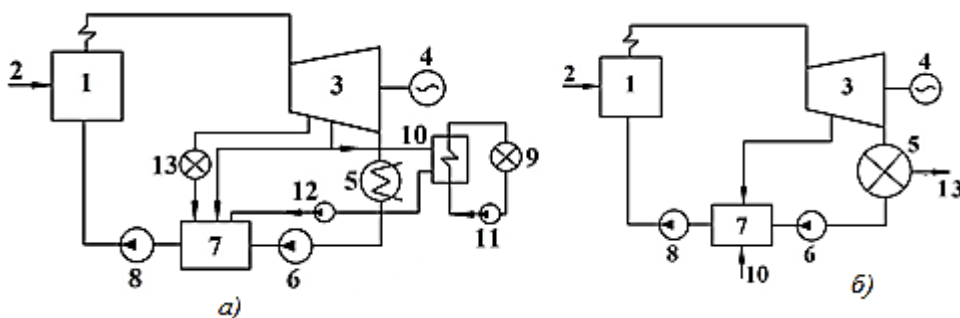


*a* - өндіріске бу алымы бар «П» турбинасы орнатылған; *б* - жылытуға бу алымы бар «Т» турбинасы орнатылған; 1 - бу қазандығы; 2 - отын; 3 - бу турбина; 4 - электргенератор; 5 - конденсатор; 6, 8 - сорғы; 7 - конденсат жинағыш бак; 9 - жылу тұтынушы; 10 - желі су жылытқышы; 11 - желі сорғысы; 12 - желі су жылытқышының конденсат сорғысы

1.4 сурет - Түрі «П» және «Т» турбиналары орнатылған ЖЭС-ің жылу сұлбалары

Егер бір турбинада екі бу алымы болса, өндіріске бу және тұтынушыларға жылу беру үшін, онда бұл түрі «ПТ» турбина болады, мұнда бір турбинада екі турбина түрі «П» және түрі «Т» турбиналар қосылғандай болады, 1.5 сурет.

Кейбір ЖЭО қондырғыларында өнеркәсіптік кәсіпорындарды бумен қамтамасыз ету үшін кері (қарсы) қысымы бар «Р» бу турбиналары қолданылады, олардың қарсы қысымынан бу шығысы өнеркәсіптік кәсіпорынның қажеттіліктерімен анықталады (1.5 сурет).



1 - бу қазандығы; 2 - отын; 3 - бу турбина (ПТ мен Р); 4 - электргенератор; 5 - конденсатор; 6, 8 - сорғы; 7 - конденсат жинағыш бак; 9 - жылу тұтынушы;

10 - желі су жылытқышы; 11 - желі сорғысы; 12 - желі су жылытқышының конденсат сорғысы; 13 - өндірістегі бу тұтынушысы

1.5 сурет - Түрі «ПТ» және «Р» турбиналары орнатылған ЖЭС-ің жылу сұлбасы

### **Бақылау сұрақтары**

1. Турбинаның алдындағы абсолютті бу қысымы 240 бар. Оны мега паскальмен және бармен көрсетіңіз.

2. Конденсатордың вакуумы 95% құрайды. Атмосфералық қысым  $10^5$  кПа болса, вакуум қандай болады?

3. Турбина 330 МВт көлемінде жылу шығарады. Бұл мәнді Гкал/сағ-қа түрлендіріңіз.

4. Қанығу температурасы дегеніміз не? Оны анықтайтын негізгі параметр қандай?

5. Бу қаныққан күйде. Оның күйі салқындаған немесе қызған кезде қалай өзгереді?

6. Энергетикалық отынның қандай түрлері бар? Олардың қайсысында жану жылуының мөлшері жоғары?

7. Шартты отын дегеніміз?

8. Энергетика мен электр энергетика арасындағы айырмашылық қандай?

9. Дәстүрлі электр энергетикасының қандай түрлері бар.

10. Жылу мен электр энергиясын бірге орталықтан қалай өндіреді?

## **2 Дәріс. Табиғи отынында жұмыс істейтін ЖЭС-тің құрылысы**

### **2.1 Жылу электр станцияларының түрлері**

Жылу электр станциясы – отын энергиясын электр және (жалпы) жылу энергиясына түрлендіретін жабдықтар мен құрылғылар кешені.

Жылу электр станцияларының түрлі көп және әртүрлі сипаттар бойынша жіктелуі мүмкін.

1. Берілетін энергияның мақсаты мен түрі бойынша электр станциялары аймақтық және өндірістік болып бөлінеді.

Аудандық электр станциялары – аудандағы тұтынушылардың барлық түрлеріне (өнеркәсіптік кәсіпорындар, көліктер, халық және т.б.) қызмет көрсететін жалпы мақсаттағы дербес электр станциялары. Негізінен электр энергиясын өндіретін аудандық конденсациялық (шықтағышты) электр станциялары (ШЭС) көбінесе өзінің тарихи атауын сақтайды - МАЭС (мемлекеттік аудандық электр станциялары). Электр және жылу энергиясын (бу немесе ыстық су түрінде) өндіретін аудандық электр станциялары жылу электр орталықтары (ЖЭО) деп аталады. Әдетте, МАЭС және аймақтық ЖЭО қуаттылығы 1 млн кВт-тан астам.

Өнеркәсіптік электр станциялары - бұл нақты өнеркәсіптік кәсіпорындарды немесе олардың кешенін жылу және электр энергиясымен қамтамасыз ететін электр станциялары, мысалы, химия өнімдерін өндіру зауыты. Көбінесе өнеркәсіптік электр станциялары жалпы электр желісінде жұмыс істейді, мысалы Атырау мұнай өңдеу зауытының ЖЭО-ы.

2. Қолданылатын отын түріне қарай жылу электр станциялары (ЖЭС) қазбалы отынмен және ядролық отынмен жұмыс істейтін атом электр станциялары (АЭС) болып бөлінеді.

Бұрын Қазақстанда бір АЭС болған (Манғышлак атом электрстанциясы), қазіргі кезде ол жабылды да Қазақстанда АЭС жоқ.

3. ЖЭО-да жылу энергиясын турбоагрегаттардың роторларының айналуының механикалық энергиясына түрлендіру үшін қолданылатын жылу электр станцияларының түрі бойынша бу турбиналы, газ турбиналы және аралас циклді (бу газ) электр станциялары ажыратылады.

Бу турбиналық электр станцияларының негізін жылу энергиясын механикалық энергияға айналдыру үшін ең күрделі, ең қуатты және өте жетілдірілген энергетикалық машина - бу турбинысын пайдаланатын бу турбиналық қондырғылар (БТҚ) құрайды. БТҚ - жылу электр станцияларының, жылу электр орталықтарының және атом электр станцияларының негізгі элементі.

Газтурбиналық жылу электр станциялары газ тәріздес немесе төтенше жағдайларда сұйық (дизельді) отынмен жұмыс істейтін газтурбиналық қондырғылармен (ГТҚ) жабдықталған.

Газ турбиналық қондырғының артындағы газдардың температурасы жеткілікті жоғары болғандықтан, олар сыртқы тұтынушыны жылу энергиясын беру үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл ЖЭС-тер ГТҚ-ЖЭО деп аталады.

Аралас циклді бугаз ЖЭС жоғары тиімділікті қамтамасыз ететін аралас циклді газ турбиналы (ГТҚ) және БТҚ (бу турбиналы) қондырғыларымен жабдықталған. БГТҚ-ЖЭС конденсациялау (шықтану) арқылы (БГТҚ-ШЭС) және жылу энергиясымен (БГТҚ-ЖЭО) орындалуы мүмкін.

Блоктық ЖЭС-тер бөлек, әдетте, бір типті электр станцияларынан - энергоблоктардан тұрады. Көлденең байланыстары бар ЖЭС-тердегі барлық қазандықтары буды бір ортақ бу желісіне (коллекторға) береді және ЖЭС-тің барлық бу турбиналары одан қоректенеді.

4. Бастапқы қысымның деңгейі бойынша критикалық қысымға дейінгі ЖЭС-тері, критикалық қысымнан жоғары (КҚЖ) деп бөлінеді.

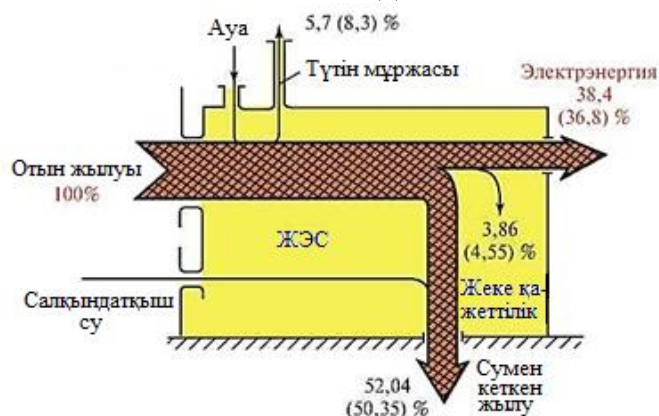
Критикалық қысым 22,1 МПа (225,6 атм) құрайды. Жылу энергетикасында бастапқы параметрлер стандартталған: ЖЭС және ЖЭО 8,8 және 12,8 МПа (90 және 130 атм) және КҚЖ үшін - 23,5 МПа (240 атм).

Техникалық себептер бойынша аса критикалық параметрлер бойынша ЖЭС қайта қыздырумен және блоктық схема бойынша жүзеге асырылады. Көбінесе параметрлердің әртүрлі деңгейлері үшін ЖЭС немесе ЖЭО бірнеше кезеңде - кезекпен салынады, олардың параметрлері әрбір жаңа кезеңді енгізумен өседі.

## 2.2 ЖЭС туралы жалпы түсінік

Қазба отынында жұмыс істейтін әдеттегі шықтағышты жылу электр станциясын (ЖЭС) қарастырайық, бірақ оның жабдықтарында іс жүзінде болып жатқан процестеріне көңіл бөлмейміз.

ЖЭС - электр энергиясын өндіруге арналған үлкен өнеркәсіптік кәсіпорын (2.1 сурет) екендігі бұрыннан айтылған. ЖЭС-тің жұмыс істеуі үшін негізгі «шикізат» бұл  $Q_{жану}$  жану жылуымен өлшенетін химиялық энергия қорын қамтитын қазбалы отын болып табылады.



2.1 сурет - Газ-мазуттық және ұнтақ көмірлі ЖЭС жылу балансы (жақшадағы сандар ұнтақ көмірліге)

2.1-суретте жыл сайынғы орташа алынған газ-мазут және ұнтақ көмір жағатын ЖЭС-те отын жылуының түрлендіру диаграммасын көрсетеді. Ұнтақ көмірлі ЖЭС үшін жақшадағы деректер. ЖЭО-ның тұтынушыларға белгілі бір уақыт аралығында беретін энергия мөлшерінің осы уақыт ішінде жанған отынның құрамындағы жұмсалған жылуға қатынасы ЖЭО-ның электр энергиясын өндірудегі таза тиімділігі деп аталады. 2.1-суретте көрсетілген ЖЭС үшін жылу балансы арқылы табылған таза тиімділігі газ-мазутты ЖЭС үшін 38,4%, ал ұнтақ көмірлі ЖЭС үшін 36,8% құрайды.

Күнделікті тәжірибеде ЖЭС-те тағы бір көрсеткіш қолданылады бұл шартты отынның меншікті шығысы  $b_{ш.о}$ , г/(кВт·сағ). Шартты отын дегеніміз бұл жану жылуы  $Q_{жану} = 7000$  ккал/кг = 29,33 МДж/кг болатын отын. Егер, мысалы, жылу электр станциясы жану жылуымен  $Q_{жану} = 3500$  ккал/кг 100 тонна көмір жақса, яғни  $B_T = 50$  тонна шартты отын пайдаланылған екен, және бұл ретте желіге  $\mathcal{E} = 160\,000$  кВт·сағ электр энергиясы өндіріліп тұтынушыға жеткізілсе, онда шартты отынның үлестік шығысы келесіге тең болады

$$b_{ш.о} = 50 \cdot 10^6 / 160000 = 312,5 \text{ г ш.о}/(\text{кВт} \cdot \text{сағ}).$$

ЖЭС-тің таза тиімділігі мен шартты отынның үлестік шығысы арасында қарапайым байланыс бар:

$$b_{ш.о} = 123 / \eta_{жэс}; \quad \eta_{жэс} = 123 / b_{ш.о}.$$



сатысы); 7 - электржетекті қоректегіш сорғы; 8 - деаэратор; 9 - айналым сорғы; 10 - су жинағыш камера; 11 - су салқындатқыш мұнаралы градирня; 12 - турбина конденсаторы; 13 - электргенераторының қоздырғышы; 14 - электргенератор; 15 - ТҚЦ; 16 - ОҚЦ; 17 - ЖҚЦ; 18 - ЖҚЖ тобы; 19 - экрандар; 20 - төбелік бу қыздырғыш; 21 - ширмалы бу қыздырғыш; 22 - конвективті бу қыздырғыш; 23 - конвективті аралық бу қыздырғыш; 24 - су экономайзеры; 25 - айналымды регенеративті ауа жылытқыш; 26 - түтін мұржа; 27 - түтін сорғыш; 28 - үрлегіш желдеткіш; 29 - түтін газ рециркуляцияның түтін сорғышы; 30 - мазут резервуары; 31 - теміржол пойызға қосылған мазут цистерналары; 32 - мазут қабылдағыш бак; 33 - мазут тасымалдау үшін сорғы; 34 - мазут жылытқыштары

## 2.2 сурет - Газ жағатын ЖЭС-ың технологиялық сұлбасы

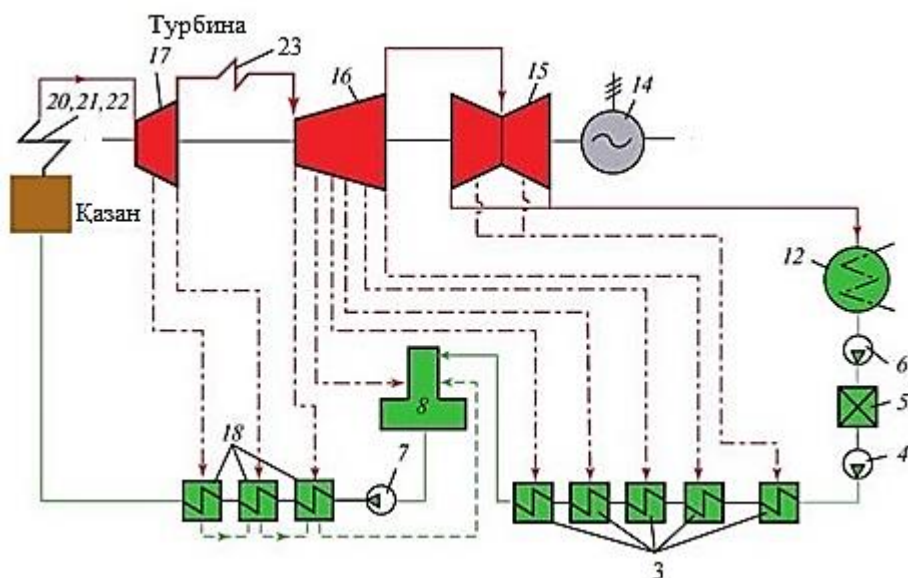
Бу бірінші цилиндрге, жоғары қысымды цилиндрге (ЖҚЦ) 17, тікелей қазандықтан беріледі, сондықтан ол жоғары параметрлерге ие (АКҚ турбиналары үшін - 23,5 МПа, 540 °С, яғни 240/540 °С). ЖҚЦ шығысында бу қысымы 3-3,5 МПа (30-35 атм), ал температурасы 300-340°С.

ЖҚЦ-ден салыстырмалы суыған бу қазандықтың аралық (қайта) бу қыздырғышқа 23 қайтарылады. Қайта қыздырылған бу орташа қысымды цилиндрге (ОҚЦ) бағытталады 16. ОҚЦ-де 0,2-0,3 МПа (2-3 атм) қысымға дейін кеңеюден кейін бу бір немесе бірнеше бірдей төмен қысымды цилиндрлерге (ТҚЦ) 15 түседі.

Осылайша, турбинада кеңейе отырып, бу оның роторын айналым түрде қозғайды. Электр генераторының 14 роторы турбина роторына қосылған, сондықтан ол да айналып, оның статор орамаларында электр тогы пайда болады.

Турбинаның ТҚЦ-нан шығатын бу конденсаторға 12 - жылу алмастырғышқа түседі, оның түтіктері арқылы суытқыш су үздіксіз ағады, циркуляциялық сорғы 9 арқылы өзеннен, резервуардан немесе арнайы салқындатқыш құрылғыдан (салқындату мұнарасы) беріледі. 2.2-суретте салқындату мұнарасы бар айналымды сумен жабдықтау жүйесі көрсетілген.

Жабдықтың сұлбалық көрінісі және олардың өзара қосылыстары 2.2-суретте жеткілікті анық көрсетілген. Қарастырылып отырған ЖЭС-тің жылулық схемасының мысалы 2.3-суретте көрсетілген. Сонымен қатар, сәйкестендіруді жеңілдету үшін 2.2-суреттегі белгіленуі жылулық схемасында 2.3-суретте бірдей жабдық үшін бірдей позициялары сақтадық.



2.3 сурет - 2.2-суретте көрсетілген ЖЭС-тің жылулық сұлбасы (белгіленуі 2.2-суреттегідей)

## 2.4 Жылу электр станцияларын салудың келешектері

Жылу электр станцияларын салу келешектерін (перспективаларын) бағалау үшін, ең алдымен, басқа электр энергия көздерімен салыстырғанда олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін корсету қажет.

Артықшылықтары мыналарды қамтиды.

1. Жылу электр станциялары қолданылатын отынды ескере отырып, салыстырмалы түрде еркін орналасуы мүмкін, су электр станцияларына (СЭС) қарағанда. Газ-мазут жағатын ЖЭС-терін кез келген жерде салуға болады, өйткені газ және мазут тасымалдауы салыстырмалы түрде арзан (көмірмен салыстырғанда). Ұнтақ көмір жағатын ЖЭС-терін көмір өндіретін жерлерге жақын орналастырған жөн. Бүгінгі таңда «көмір» жылу энергетикасы айқын аймақтық сипатқа ие.

2. Орнатылған қуаттың үлестік құны (орнатылған қуаттылықтың 1 кВт құны) және ЖЭС салу мерзімі АЭС пен СЭС-ке қарағанда әлдеқайда қысқа.

3. ЖЭС-те электр энергиясын өндіру, су электр станцияларынан айырмашылығы, маусымға байланысты емес және тек отын жеткізумен анықталады.

4. ЖЭО үшін шаруашылық жерлерді иеліктен шығару аумақтары АЭС-ке қарағанда айтарлықтай аз және, әрине, оларды осы көрсеткіш бойынша СЭС пен салыстыруға болмайды, олардың қоршаған ортаға әсері аймақтық деңгейден алшақ болуы мүмкін.

5. ЖЭС-те кез келген дерлік отынды жағуға болады, соның ішінде күлмен, сумен, таспен балласталған ең төменгі сортты көмірлер.

6. Атом электр станцияларынан айырмашылығы, ЖЭС-ті пайдалану мерзімі аяқталғаннан кейін оларды кәдеге жаратуда проблемалар жоқ.

Осы артықшылықтармен қатар ЖЭС-тің бірқатар кемшіліктері бар.



1. ЖЭС - ең экологиялық «лас» электр энергиясының көздері, әсіресе күлі жоғары күкіртті отынмен жұмыс істейтіндер. Атом электр станцияларының атмосфераға тұрақты шығарындылары жоқ, бірақ пайдаланылған ядролық отынды сақтау мен өңдеудің шешілмеген проблемалары, сондай-ақ атом электр станциясының өзін кәдеге жарату салдарынан үнемі радиоактивті ластану қаупін тудыратын атом электр станциялары деп айту керек, пайдалану мерзімі аяқталғаннан кейін. Немесе шаруашылық алқаптарының орасан зор аумақтарын су басқан су электр станциялары және аймақтық климатты өзгертетін су электр станциялары айтарлықтай дәрежесімен ғана экологиялық тұрғыдан «таза» болады деп санауға себеп бар.

2. Дәстүрлі ЖЭС салыстырмалы түрде төмен тиімділікке ие (атомдық электр станциясынан жақсы, бірақ БГТ қондырғысынан әлдеқайда нашар).

3. Су электр станцияларынан айырмашылығы, жылу электр станцияларының тәуліктік электр жүктемесі кестесінің ауыспалы бөлігін жабуға қатысуы екіталай.

4. ЖЭС-тер көбінесе тасымалданатын отынның жеткізіліміне айтарлықтай тәуелді.

Барлық осы кемшіліктерге қарамастан, ЖЭС әлемнің көптеген елдерінде электр энергиясының негізгі өндірушілері болып табылады және кем дегенде алдағы 50 жыл бойы солай қалады. Қуатты конденсациялық жылу электр станцияларын салу перспективалары пайдаланылатын қазба отынының түріне тығыз байланысты.

Сұйық отынның (мазуттың, мұнайдың) энергия тасымалдаушысы ретіндегі үлкен артықшылықтарына қарамастан (жоғары жылулық құндылығы, тасымалдаудың қарапайымдылығы), оны ЖЭС-да пайдалану қордың шектеулі болуына байланысты ғана емес, мұнай-химия өнеркәсібінің шикізаты болғаннан, сонымен қатар оның үлкен құндылығына байланысты төмендейді.

Қазақстанда да, шетелде де классикалық бу турбиналы ЖЭС салудың ұзақ мерзімді перспективалары ең алдымен көмірді, әсіресе төмен сұрыпты көмірді пайдаланумен байланысты. Бұл, әрине, бірте-бірте БГТҚ-мен ауыстырылатын газ-мазут жағатын ЖЭС-терінің жұмысын тоқтатуды білдірмейді.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Аудандық жылу электр стансасының өндірістік ЖЭС-тен айырмашылығы неде?

2. Жылу күштік қондырғыларының түрлерін айтыңыз.

3. Қуат блогының көлденең байланысы бар ЖЭС-тен айырмашылығы неде?

4. Бастапқы қысым деңгейіне қарай ЖЭС-тер қалай жіктеледі?

5. ЖЭС 4000 ккал/кг жану жылуымен 100 тонна отынды жағып, 320 кВт·сағ электр энергиясын бөлді. Шартты отынның меншікті шығысы қандай?

6. Бу турбиналы энергоблоктың негізгі элементтерінің қажеттілігін атаңыз: бу қазандығы, бу турбины, конденсатор және қоректендіру сорғы.

7. Неліктен қуатты турбиналық қондырғыларда буды аралық қыздыру қолданылады?

8. ЖЭО-да электр генераторы мен трансформатор қандай қызмет атқарады?

9. Бу турбиналық қондырғыда қоректік суды регенеративті қыздыру не үшін қолданылады және ол қалай жүзеге асырылады?

10. Конденсатты деаэрациялау дегеніміз не және ол қандай аппаратта жүргізіледі?

11. Қай энергоблок үнемді: ұнтақ көмір немесе газмазут жағатын?

12. ЖЭС-тің бас корпусы қандай бөлімдерден (бөлмелерден) тұрады және оларда қандай қондырғылар орналасқан?

13. ЖЭС-тің су және атом электр станцияларымен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

### 3 Дәріс. Қазіргі заманғы ЖЭО-ның құрылысы және жұмыс атқаруы

Адам өмірі тек электр энергиясын ғана емес, сонымен қатар жылу энергиясын да кеңінен қолданумен байланысты.

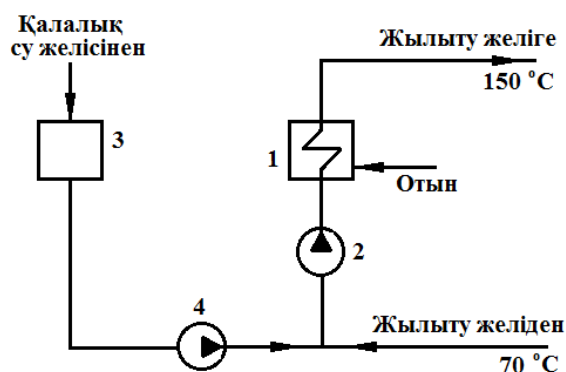
Сыртқы ауа температурасына байланысты ғимараттарды жылыту үшін жиі температурасы 80-90 °С ыстық су қолданылады. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың әртүрлі технологиялық процестері үшін 1-3 МПа қысыммен өндірістік бу деп аталатын қажет.

Жылумен қамтамасыз ету (жабдықтау) жүйесі орталықтандырылған немесе орталықтандырылмаған болуы мүмкін (3.1 сурет). Орталықтандырылған жылыту үшін көздердің екі түрі қолданылады: қазандықтар және аралас жылу электр станциялары.



3.1 сурет - Жылумен қамтамасыз ету түрлері

Шағын елді мекендер үшін, әсіресе жылына қысқа мерзімде жылуды қажет ететін және экологиялық мәселелер өткір емес елді мекендер үшін тұтынушылардың талғамы мен қаржылық мүмкіндіктеріне сәйкес келетін орталықтандырылмаған жылу көздерін пайдаланған жөн. 3.2-суретте ыстық су қазандығының жылулық сұлбасы көрсетілген.



1 - су қыздырғыш қазандық; 2 - желі сорғысы; 3 - су тазарту (дайындау) қондырғы; 4 - сумен жабдықтау сорғы

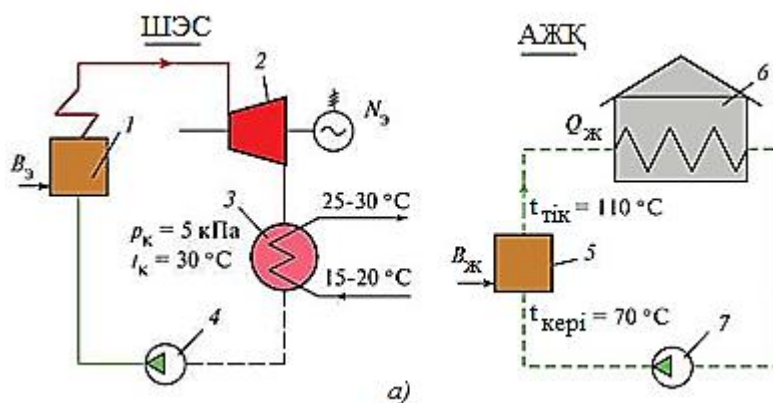
3.2 сурет - Су жылытқыш қазандығының жылу сұлбасы

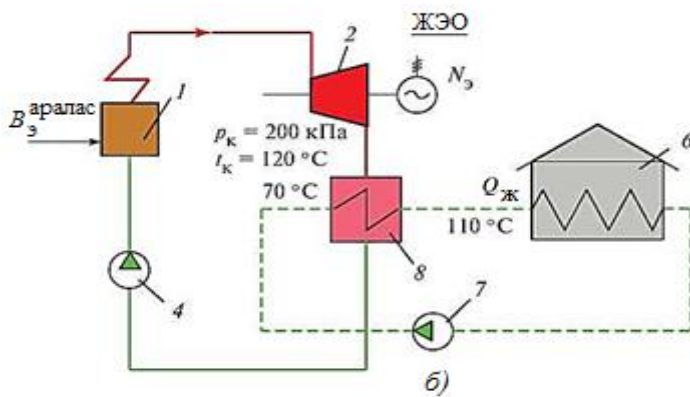
Ірі қалаларда орталықтандырылған жылумен қамтамасыз етудің негізгі көзі болып табылатын ЖЭО және қуаттылығы 400 Гкал/сағ дейін аудандық жылу станциялары (АЖС).

Кәсіпорындар мен халықты жылумен орталықтандырылған жылумен қамтамасыз етуді «жылуландыру» деп атаған жөн.

Егер тұрғын үйлер мен қоғамдық ғимараттар орналасқан қала іші болған кезде жылу құбырларын жерастымен өткізген дұрыс. Жылу құбырларын жер астымен өткізген кезінде, оларды арнасыз және арнамен өткізуге болады.

Электр энергиясы мен жылуды бөлек және біріктірілген түрде өндіруге болады, 3.3 сурет. Шықтағышты электрстанциясында тек  $N_э$  электр қуаты өндіріледі, ал аудандық жылу қазандығында тек жылу  $Q_ж$  өндіріледі, (3.3, а сурет), ал жылу электрорталығында (ЖЭО) электр қуаты және жылу бірге өндіріледі, (3.3, б сурет).



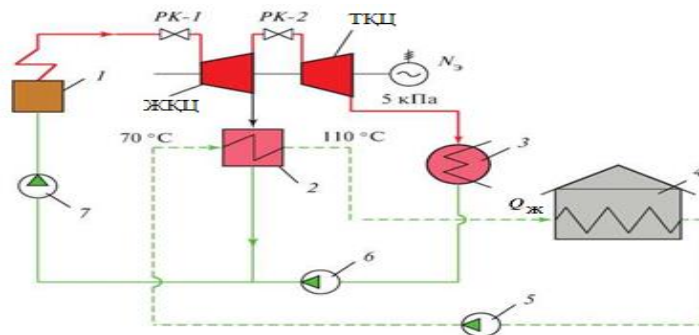


1 - энергетикалық бу қазандығы; 2 - бу турбинысы; 3 - конденсатор;  
4 - қоректік сорғы; 5 - ыстық су қазандығы; 6 - жылу тұтынушы; 7 -  
желілік сорғы; 8 - желілік жылытқыш

3.3 сурет - Жылу және электр энергиясын бөлек (а) және аралас (б) өндіру сұлбалары

ЖЭО-да аралас  $N_3$  және  $Q_{ж}$  өндіру ШЭС пен АЖҚ - ға қарағанда үнемді болады.

3.4-суретте жылуландыру турбинысы бар жылытуға арналған ЖЭО-ың сұлбасы көрсетілген.



1 - бу қазандығы; 2 - желілік жылытқыш; 3 - конденсатор; 4 - жылу тұтынушы; 5 - желілік сорғы; 6 - конденсат сорғы; 7 - қоректендіру сорғысы

3.4 сурет - Жылуландыру турбинысы бар жылыту ЖЭО-ың сұлбасы

ЖЭО-да  $1 \text{ кВт}\cdot\text{сағ}$ -қа эквивалентті отын шығысы  $230\text{-}250 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{сағ})$ , ал ШЭС-те  $320\text{-}350 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{сағ})$  болғаны белгілі. Бұл ЖЭО-ның үнемді жұмысының нәтижесі емес, орталықтандырылған жылудан түсетін пайданы бөлу әдісі.

ЖЭО энергияның екі түрін шығарады - электрлік және жылулық. Сондықтан ЖЭО жұмысының сапасын бағалау үшін екі көрсеткішті пайдалану қажет.

## **Бақылау сұрақтары**

1. Орталықтандырылған жылу беру қалай жүзеге асырылады?
2. Тік және кері желілік судың айырмашылығы неде?
3. Ыстық су (су жылытқыш) қазандығы қалай жұмыс істейді?
4. Жылуландыру дегеніміз не?
5. Жылу желілерің құрылысы қандай?
6. Электр энергия мен жылуды біріктіріп өндірудің бөлек өндіруден артықшылығы неде?
7. Жылуландыру арқылы өндірілген электр энергия мен жылудың арасында отын үнемдеудің мәні неде?
8. Жылыту ЖЭО қалай жұмыс істейді?
9. ЖЭО жұмысының тиімділігін сипаттайтын көрсеткіштерді атаңыз.
10. Жылуды өндіріп тұтыну арқылы электр энергиясын өндіру дегеніміз не және оның физикалық мағынасы қандай?

## **4 Дәріс. Қуатты ЖЭО-ың жылуландыру қондырғысының құрылымы**

### **4.1 ЖЭО-ың жылуландыру қондырғысының сұлбасы**

Жылуландыру қондырғысының құрамына мыналар кіреді:

- желілік жылытқыштар;
- жылуландыру қондырғысы мен жылу желісі (немесе оның бөлігі) арқылы желілік суды айналдыратын сорғылар жүйесі;
- желілік жылытқыштарды турбинаның жылыту бу алымының буымен қамтамасыз ететін бу құбырлары;
- желілік жылытқыштардан жылытатын бу конденсатын аластау жүйесі;
- шықтанатын буды желілік суға жақсы жылу беруді болдырмайтын желілік жылытқыштардан шықтанбайтын газдарды кетіруге арналған жүйе.

Қазіргі ЖЭО-да желілік суды жылыту үшін әдетте екі желілік су жылытқыш (СЖ) қолданылады, олар арқылы жылытылатын желі суы тізбектей өтеді.

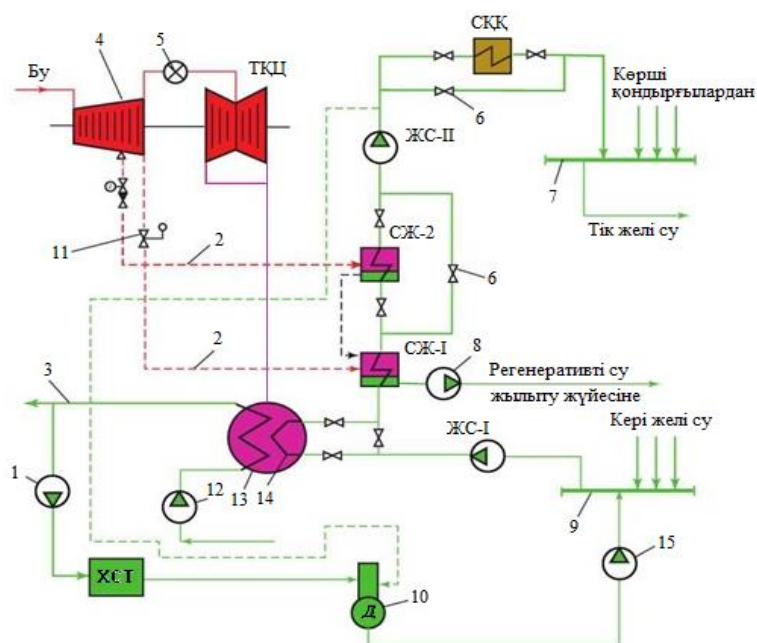
4.1-суреттегі ЖЭО-ның жылулық сұлбасы бойынша СЖ-1-ден кейін желілік су, егер оның температурасы жылу желісінің температуралық кестесінің талаптарына сәйкес келсе, айналма желілер арқылы (6-клапан арқылы) екінші көтерілістің желілік сорғылары ЖС-II арқылы ЖЭО-ның тік желілі суының құбырына 7 жіберіледі. Егер судың жылытуы жеткіліксіз болса, онда желілік су СЖ-2-ге беріледі, жоғары қысымды және сәйкесінше жоғары конденсациялану температурасы бар бумен қыздырылады.

Қаланың әртүрлі аудандарының магистральдық құбырларынан келетін кері желілік су бір немесе бірнеше станциялық желі су қайтарылатын коллекторларға 9 беріледі. ЖЭО-ның барлық су жылыту қондырғылары осы коллектордан қоректенеді, олардың әрқайсысы өз турбинасынан қуат алады.

Сонымен, барлық су жылыту қондырғылары тікелей желілік судың бір немесе бірнеше қысым коллекторында 7 жұмыс істейді, ол жерден ол қала аудандарын жылыту үшін таратылады.

ЖЭО-ның кері желілік су желісінен желілік су бірінші қысым көтеру желілік сорғыларымен ЖС-I төменгі желілік жылытқышқа СЖ-1 беріледі, ол ЖҚЦ-нің шығыс құбырынан бұмен қоректенеді (бұл төменгі жылыту бу алымы). Кейбір режимдерде желілік суды конденсатордың 14 кірістірілген түтіктер жинағында алдын ала қыздыруға болады.

Көп жағдайда желілік су екі жылытқыштан өткен соң, 100-110 °С дейін қызады. Сондықтан, егер желілік судың одан да жоғары температурасы болуы қажет болса, мысалы, өте суық ауа райында, екі су жылытқышта қыздырылғаннан кейін су СҚҚ-ға (су қыздырғыш қазандыққа) жіберіледі. Ол қосымша отынды жағып, суды нақты жылу кестесінің қажеттіліктеріне сәйкес 140-200 °С дейін қыздырады. Турбинаның жылуландыру бу алымдарынан шығаты бұ құбырлары 2 желі су жылытқыштарға бұды береді.



1 - химиялық су тазартуға (ХСТ) арналған суды беретін шикі су сорғысы; 2 – турбинаның бұ алымдарынан желілік су жылытқыштарға бұды алуға арналған бұ құбырлары; 3 - салқындату мұнарасына (немесе тоғанға) жылып кеткен салқындату судың берілуі; 4 - ЖҚЦ; 5 - желілік жылытқыштардағы бұды таңдауды анықтайтын реттеуші клапан; 6 - желі су жылытқышқа баратын бұды реттейтін клапандар; 7 - тік желілік судың қысым коллекторы; 8 - қыздыру бұдың конденсатын аластайтын сорғы; 9 - кері желі суының коллекторы; 10 - вакуумдық (немесе атмосфералық) қосымша судың деаэраторы; 11 - сақтандырғыш клапан; 12 - айналым сорғысы; 13 - конденсатордың негізгі түтіктер жинағы; 14 - кірістірілген түтіктер жинағы; 15 - қосымша судың сорғысы

4.1 сурет - Жылуландыру қондырғысының сұлбасы және оны ЖЭО-дағы жылу желілерінің суының негізгі сұлбасына қосу

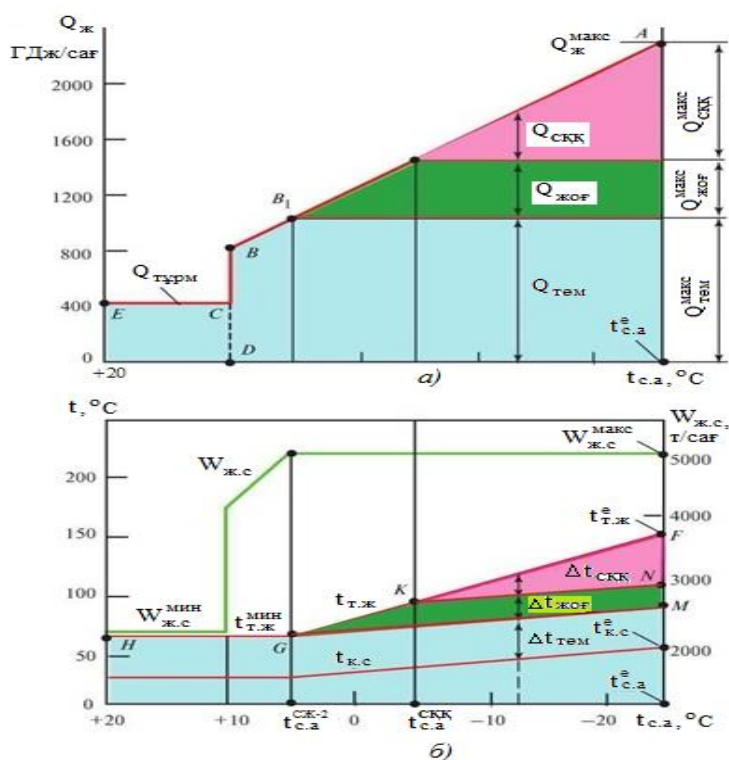
## 4.2 ЖЭО-ның жылытылатын аумақтың жылуды қажет ету графигі

Сыртқы ауа температурасы  $t_{ca}$  неғұрлым төмен болса, үй ішіндегі және сыртындағы температура айырмашылығы соғұрлым жоғары болады (4.2, а сурет).

ЖЭО қондырғысын жобалау кезінде ең жоғары мүмкін болатын жылу сұранысы  $Q_{ж}^{макс}$  белгілі бір аймақтағы минималды есептік сыртқы ауа температурасы  $t_{ca}^e$  бойынша бағаланады.

Минималды есептік температурасы  $t_{ca}^e$  климаттық жағдайлармен анықталады және, мысалы, Алматы үшін  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Астана үшін  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Минималды есептік температурасы  $t_{ca}^e$  ұлғайған сайын бөлмедегі және қоршаған ортадағы температура айырмашылығы және жылу сұранысы төмендейді (4.2, а-суреттегі АВ сызығы). Сыртқы ауа температурасы жоғарлаған сайын, мысалы  $t_{ca} > +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  енді ғимараттарды жылыту қажет емес, үй-жайларды кондиционерлеу қажет.



4.2 сурет - Ауданның жылу тұтыну (а) және жылу желісінің температуралық графигі (б)

ЖЭО-дан максималды жылу өндіріп шығару судың жылу сыйымдылығына, шығысына және судың тік және кері желі су температурасына байланысты, (4.2,б сурет). Желілік су жылытқыштарда қыздырылады.

## Бақылау сұрақтары

1. ЖЭО жылуландыру қондырғысының негізгі элементтерін атаңыз.
2. ЖЭО-да жылу желісінің қосымша сумен қамтамасыз ететін қондырғысы қандай мақсатқа қызмет етеді?
3. Жылу желісінің температуралық графигі қандай және ол не үшін қажет?
4. Желілік жылытқыштың жұмысы қандай принципке негізделген?
5. Желілік жылытқышқа бу 2 атм қысымда және 140 °С температурада беріледі. Ондағы желі суды қандай температураға дейін қыздыруға болады?

## 5 Дәріс. Энергетикалық отын және оның жағуы

### 5.1 Органикалық отын түрлері

Органикалық отын – оттегімен әрекеттесіп, көп мөлшерде жылу бөле алатын органикалық заттар.

Агрегаттық күйіне қарай органикалық отын газ тәрізді, сұйық және қатты, ал олар өз кезегінде табиғи және жасанды болып бөлінеді (5.1 кесте).

5.1 кесте - Қазба отынының түрлері

Отын	Табиғи отын	Жасанды отын
Газ тәрізді	Табиғи газ	Генератор, кокс және домна газдары, мұнай айдау өнімдері, жерасты газдандыру газы, синтездік газ
Сұйық	Мұнай	Мұнай өңдеу өнімдері: бензин, керосин, солярка майы, мазут
Қатты	Қазба отындары: шымтезек, қоңыр көмір, тас көмір, антрацит, сланец. Өсімдік отындары: ағаш отын, ағаш қалдықтары, биомасса	Ағаш көмірі, кокс, жартылай кокс, көмір брикеттері, көмір өңдеу қалдықтары

Жылу электр станцияларында жағылатын энергетикалық отын дегеніміз көп мөлшерде жылу алу үшін пайдалануы экономикалық тұрғыдан тиімді органикалық отынды түсінеміз. Газ-мазут жағатын жылу электр станциялары ұнтақ көмірге қарағанда тиімділігі жоғары.

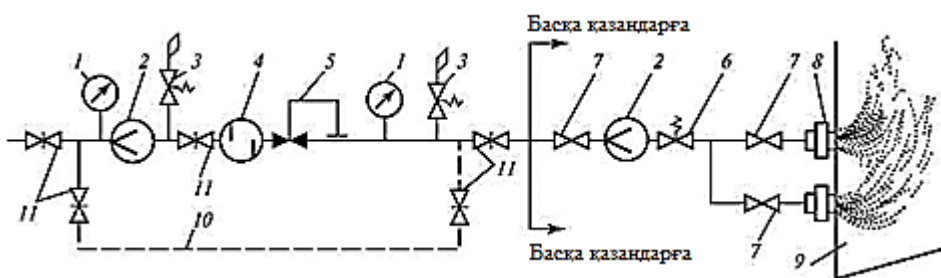


## 5.2 Газ тәрізді отын

Электр және жылу энергиясын өндіру үшін, әсіресе ірі қалалар мен халық тығыз орналасқан аудандарда ЖЭС-тер қалыпты жағдайда негізінен жану жылу мөлшері 31-46 МДж/м<sup>3</sup> болатын табиғи газды жағады. Табиғи газдың негізгі құрамдас бөліктері метан CH<sub>4</sub> (көлем бойынша 85,8-98,9%), этан C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (0,2-14,5%), пропан C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (0,1-7,6%), бутан C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> және қанықпаған көмірсутектер, (орта есеппен 2,5%-дан аз).

Балластың үлесі - азот N<sub>2</sub> және көмірқышқыл газы CO<sub>2</sub> сәйкесінше 1-8,8 және 0,1-1,2% құрайды.

Газды жағу үшін алдын ала өңдеп дайындау қарапайым. Ол тек газ құбырындағы қысымды 0,7-1,3 МПа-дан қазандықтың алдында 0,2-0,35 МПа-ға дейін газ тарату пунктінде жүзеге асырылатын оның дроссельдеуінен тұрады. Оттықтар алдында газ қысымы 0,13-0,2 МПа деңгейінде болады. Газ құбырлары тиісті арматурамен және жабдықтармен жабдықталған (5.1 сурет). Қазандыққа түсетін газдың температурасы 0-5 °С.



1 - отын қысымының манометрлері; 2 - отын шығысын есептегіштер; 3 - сақтандырғыш клапандар; 4 - сүзгі; 5 - отын қысымын реттегіш; 6 - жылдам әрекет ететін клапан; 7 - газ шығысын реттегіштер; 8 - оттық; 9 - өрт сөндіру құрылғысы; 10 - айналма құбыр; 11 - электр жетегі бар газ клапандары

5.1 сурет - Газ тәрізді отынды жағуға дайындау сұлбасы

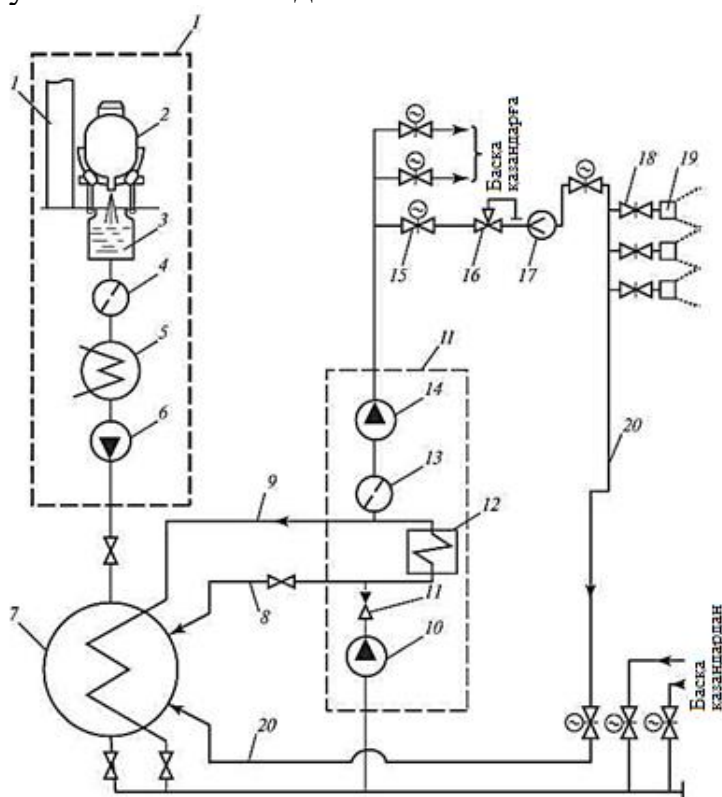
Табиғи газ біртекті қоспа және метан оның басым құрамдас бөлігі болғандықтан, бөлмедегі газдың болуын метанометрдің көмегімен ауадағы көлемін анықтауға болады. Табиғи газ иіссіз, сондықтан ағып кетуді дер кезінде анықтау үшін газ отыны иіспен өңделеді - ол арнайы зат - маркапанның енгізілуіне байланысты өткір иіске ие болады.

## 5.3 Сұйық отын

Ірі ЖЭС-те сұйық отын ретінде мазут жағылады, сонымен қатар, мазут ұнтақ көмір станцияларында оталдырғыш отын ретінде пайдаланылады. Күрделі химиялық құрамға қарамастан, мазут шартты түрде бес химиялық элементтен тұратын ерітінді ретінде ұсынылуы мүмкін: көміртегі (83-85%); сутегі (10,4-11,8%); күкірт (0,3-3,5%); оттегі мен азот (барлығы 0,7%-дан аз).

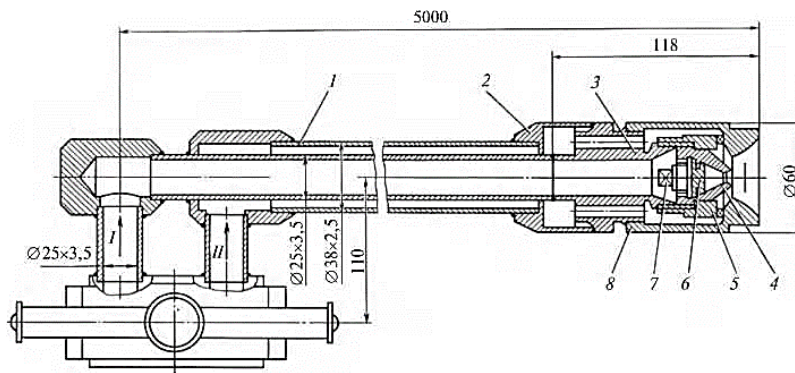
Мазуттың құрамына ылғал (3%-дан аз) және күл кіреді. Мазуттың жану жылуы 38,8-40,3 МДж/кг. Стандартқа сәйкес құрамындағы күкірт болуына байланысты мазут күкірті аз ( $S < 0,5\%$ ), күкіртті ( $0,5 < S < 2\%$ ) және күкірті жоғары ( $S > 2\%$ ) болып бөлінеді. Мазуттың тұтқырлығы маңызды. Құбырлар арқылы тасымалдау үшін мазутты қыздыру керек, қыздыру температурасы тұтқырлығына байланысты және 80-120 °С құрайды. Электр станцияларында қолданылатын мазутты жағуға дайындаудың технологиялық сұлбасы 5.2-суретте көрсетілген. Газ және мазут жағу шарттары көбінесе ортақ. Отынның екі түрі де бірдей жану жылулық мәндерге ие, жану газ күйінде жүреді. Жану қарқындылығы отын мен тотықтырғышты (ауаны) араластыру шарттарымен ғана анықталады. Газ оттықтарда ал мазут форсункаларда жағылады.

Мазут жағуға арналған форсункалары механикалық, булы-механикалық және булы болып бөлінеді.



1 - эстакада; 2 - бу күртешелері бар цистерна; 3 - төгетін құрылғы; 4 - ірі сүзгі; 5 - жылытуы бар қабылдау цистернасы; 6 - тасымалдау сорғысы; 7 - бас мазут қоймасы; 8, 9, 20 - рециркуляциялық желілер; 10 - мазут сорғылардың бірінші сатысы; 11 - кері ысырма; 12 - бұмен мазут жылытқышы; 13 - жұқа сүзгі; 14 - екінші сатыдағы мазут сорғысы; 15 - жапқыш клапаны; 16 - ағынды реттегіш; 17 - шығыс өлшегіш; 18 - форсунка алдындағы клапан; 19 - форсунка; I - қабылдау және төгу құрылғысы; II - сорғы станциясы

5.2 сурет - Мазутты жағуға дайындау сұлбасы



1 - форсунканың корпусы; 2 - бекіткіш; 3 - форсунканың басы; 4 - мазут саптамасы; 5 - бу құйындатқышы (бұрағыш); 6 - мазут бұрағыш; 7 - сүзгі; 8 - бу саптамасы; I - мазут кірісі; II – бу кірісі

5.6 сурет - Бу өнімділігі  $D = 500$  т/сағ қазанның бу-механикалық форсункасы

Негізінен сұйық отынды жағып пайдалану кезіндегі проблемалары:

- мазут жағу кезінде бу қыздырғыш беттердің жоғары температуралық ванадий коррозиясы;

- аса критикалық бу қысымы бар қазандардағы экрандардың жоғары температуралық коррозиясы;

- газ-мазутты жағу кезінде будың қызу температурасын қамтамасыз ету.

Газды және мазутты жағу кезінде қоршаған ортаны ластайтын негізгі заттар азот оксидтері болып табылады. Азот оксидтерін  $NO_x$  шығарылуын азайтудың технологиялық әдістеріне мыналар жатады:

- артық ауаны азайту;
- аз улы оттықтардың конструкцияларын қолдану;
- екі сатылы жану сұлбасын жүзеге асыру;
- үш сатылы жану сұлбасын енгізу;
- рециркуляциялық газдарды ошаққа енгізу;
- жану аймағына су немесе буды шашыратып енгізу;
- стехиометриялық емес отынды жағуды ұйымдастыру.

Төмен улы оттықтар негізінен жану процесінің ұзақтығын арттыру арқылы максималды температураны төмендетуге бағытталған. Екі сатылы жану оттықтарға отынды беру кезінде ауаны жануға жеткіліксіз беруді білдіреді ( $\alpha < 1$ ). Содан кейін жетіспейтін тотықтырғыш ауа факел бойындағы арнайы саптамалар арқылы беріледі. Үш сатылы жану сұлбада 1-ге жақын артық ауамен жұмыс істейтін негізгі оттықтардың үстіне қосымша оттықтарға орнатылады, оларға берілетін ауаның мөлшері жану үшін теориялық қажеттілігінен аз болады. Жетіспейтін тотықтырғыш үшінші кезеңде енгізіледі.

## 5.4 Қатты отын және оны жағу

Химиялық құрамы бойынша қатты отын мазут сияқты бес элементпен ұсынылуы мүмкін: С, Н, S, N және О. Сонымен қатар, ылғал (W) және күл (А) отын балластына жатады. Жылу техникасында қатты отындар құрамы негізінен отынның жұмыстық массасымен көрсетіледі, яғни тұтынушыға тікелей түсетін отын.

1 кг отынның толық жануы кезінде бөлінетін жылу мөлшері оның жану жылуын сипаттайды. Тәжірибе арқылы анықталған жоғары және төмен жану жылулық деген мәндер бар.

Шамамен Д.И. Менделеев формуласы бойынша, отынның жұмыстық массасының ең жоғары жану жылуының мәні, кДж/кг,

$$Q_s^r = 4,1868[C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r)].$$

Отынның төменгі жану жылуының мәні  $Q_i^r$  жоғары жану жылуының мәнінен  $Q_s^r$ -нен отынның жануы кезінде пайда болған судың булануына, сондай-ақ отынның құрамындағы ылғалдың булануына жұмсалған мән бойынша аз, кДж/кг:

$$Q_i^r = Q_s^r - (54H^r + 6W^r)$$

Қазіргі қазандықтарда көп жағдайда отын ұнтақталған (шаң) күйінде жағылады. Қатты отынды жағуға дайындау отынды кептіру мен ұнтақтауды қамтамасыз ететін құрылғыларда жүзеге асырылады және ұнтақтау (шаң дайындау) жүйелері деп аталады. Шаңды дайындау жүйелері жеке және орталықты болып бөлінеді.

### Бақылау сұрақтары

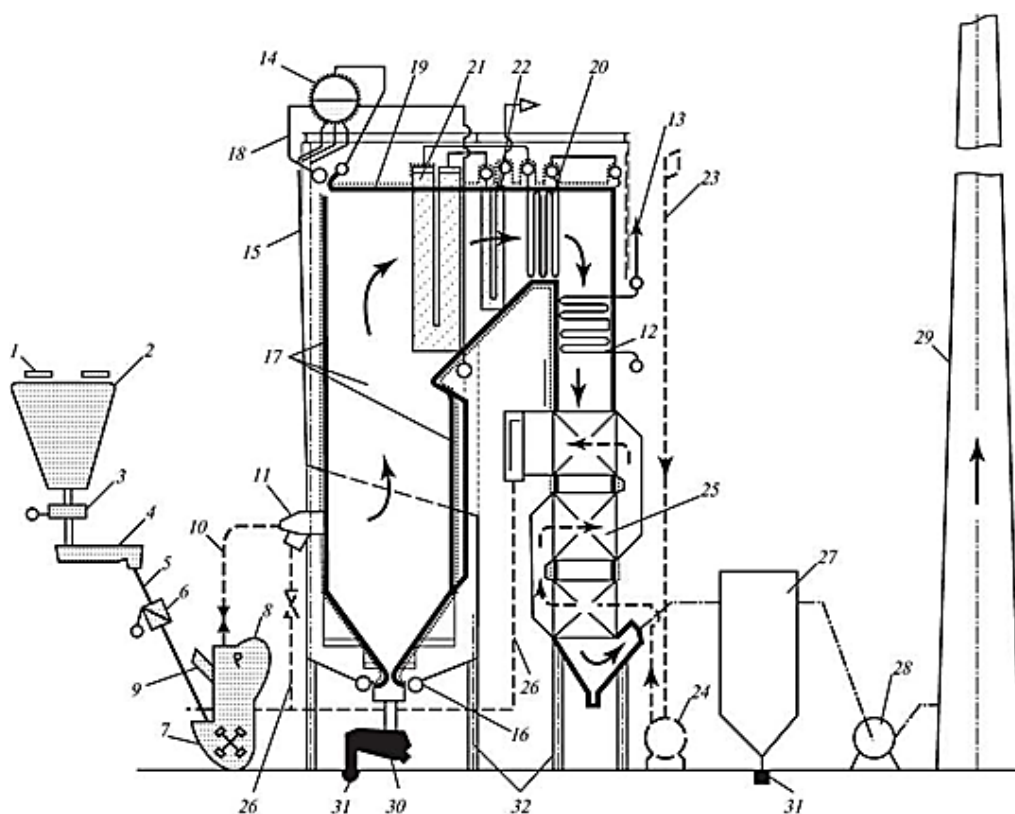
1. Қазба отын қалай жіктеледі?
2. Қандай отын энергетикалық отынға жатады?
3. Энергетика саласының газды жағуға бағытталуының себебі неде?
4. Газ тәрізді отынды жағуға дайындық дегеніміз не?
5. Газдың қандай жылулық сипаттамаларын ең маңызды деп санау керек?
6. Неліктен тұтқырлық мазуттың маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады?
7. Мазутты жағуға дайындаудың негізгі кезеңдері қандай?
8. Бу қазандықтарында газды және мазутты жағуды қалай ұйымдастыру керек?
9. Газ-мазут жағатын қазандықтарындағы  $NO_x$  шығарындыларын азайтудың жолдары қандай?
10. Қатты отын қандай сипаттамалар бойынша жіктеледі?
11. Қатты отынды жағуға дайындық дегеніміз не?

## 6 Дәріс. ЖЭС және ЖЭО қазандық қондырғыларының құрылымы және жұмыс атқару

### 6.1 Қазандық қондырғының құрылымы

Қазандық – органикалық отынның жануы кезінде бөлінетін жылу есебінен белгіленген параметрлердегі су немесе буды өндіріп алуға арналған техникалық құрылым.

Қазандық қондырғы сәйкес типтегі қазандықтан және қазандықтың жұмыс істеуін қамтамасыз ететін қосалқы жабдықтан тұрады (6.1 сурет).



1 - шикі отын конвейері; 2 - шикі отын бункері; 3 - жапқыш қақпасы; 4 - шикі отын беру құрылғысы; 5 - отын өтетін құбыр; 6 - отынның берілуін ашып-жапқыш; 7 - балғалы диірмен; 8 - бөлгіш (сепаратор); 9 - жарылыстан сақтандыру клапан; 10 - шаң құбыры; 11 - оттық; 12 - экономайзер; 13, 18 - су өткізгіш құбырлары; 14 - барабан; 15 - су төмен түсіру құбырлары; 16 - төменгі коллектор; 17 - булану экрандары; 19 - төбеге орнатылған бу қыздырғыш; 20, 22 - бу қыздырғыштың суық және ыстық конвективті сатылары; 21 - экрандар; 23 - ауа қабылдау құрылғысы; 24 - үрлегіш желдеткіш; 25 - ауа жылытқышы; 26 - ауа құбырлары; 27 - күл ұстағыш; 28 - түгін сорғыш; 29 - мұржа; 30 - қожды кетіру механикаландырылған қондырғы; 31 - күлді су ағынымен кетіру арнасы; 32 - қазандық рамасының (каркасының) бағандары

6.1 сурет - Барабанды қазандығы бар қазандық қондырғысының сұлбасы

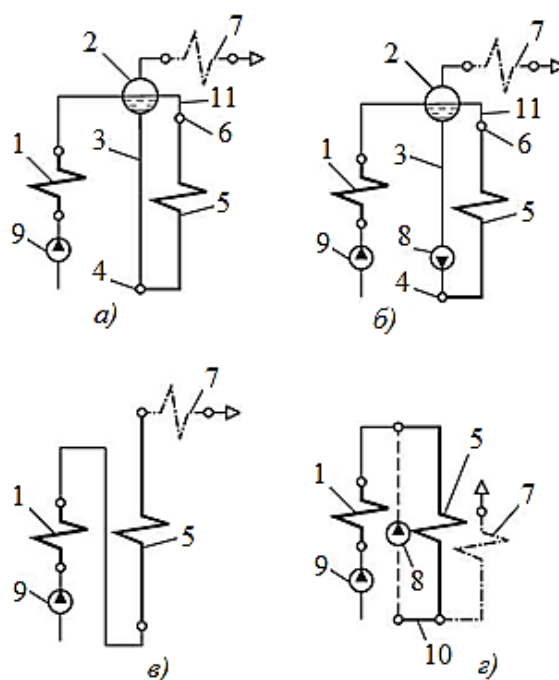
Әрбір қазандық қондырғысы бу-су, отын, ауа, газ жолдарының қосындысы ретінде, ал қатты отынды жағу жағдайында күл мен қожды кетіру жолы ретінде ұсынылуы мүмкін.

Қазандықтың негізгі элементтері қыздыру беттері болып табылады - жану өнімдерінен жылуды жұмыс сұйықтығына (су, бу-су қоспасы, бу) беруге арналған жылу алмасу беттері.

Жұмыс сұйықтығының күйіне байланысты жылыту (қыздыру), булану және буды аса қыздыру беттеріне бөлінеді. Жану өнімдерінен жылу беру радиация (сәулелену) және конвекция арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Осыған сәйкес радиациялық, конвективті және радиациялық-конвективті (жартылай радиациялық) қыздыру беттері бөлінеді.

Қазандықтағы жылыту беті: экономайзер қорек су қыздыру үшін. Буландырғыш беттер - экрандар қазандықтың ошағына немесе түтін қорабында (шахтасында), ал буды аса қыздырғыштар - түтін қорабында және ошақтың шығысына орналастырылады.

Бу-су жолының түріне қарай қазандықтар барабанды және тура ағынды қазандар болып бөлінеді (6.2 сурет).



*а* - табиғи айналымды барабаны бар қазандығы үшін; *б* - сондай тек мәжбүрлі айналыммен; *в* - тура ағынды қазандық үшін; *г* - сондай тек мәжбүрлі айналыммен; 1 - экономайзер; 2 - барабан; 3 - су түсіру жүйесі; 4 - төменгі коллектор; 5 - экрандар; 6 - жоғарғы жинағыш коллектор; 7 - бу қыздырғыш; 8 - айналым сорғы; 9 - қоректік сорғы; 10 - айналым желісі; 11 - бу өткізгіш құбырлар

6.2 сурет - Қазандықтың бу-су жолының сұлбалары

Қазандық қондырғыларына қойылатын негізгі талаптар қажетті жұмыс параметрлерін (бу өнімділігі, қатты қызған будың қысымы мен температурасы), қоршаған ортаның экотогиялық көрсеткіштерін, жұмыс процесінің тиімділігін, қазандық агрегатының және көмекші жабдықтардың сенімділігін қамтамасыз ету.

Қажетті параметрлерге отынның жану түрі мен әдісіне байланысты қазандықтардың жұмыс жүктемесі ауқымында қол жеткізу керек. Сонымен, газ-мазут жағатын қазандықтар үшін жүктеме диапазоны номиналды бу өнімділігінің 30-100% құрайды. Шлақты қатты түрде шығаратын қазандарда ұшпа заттар шығымы 30% болса, жүктеме номиналдыдан 60–100%, ал  $V^{daf} > 30\%$  үшін бұл диапазон 50–100% сәйкес келеді.

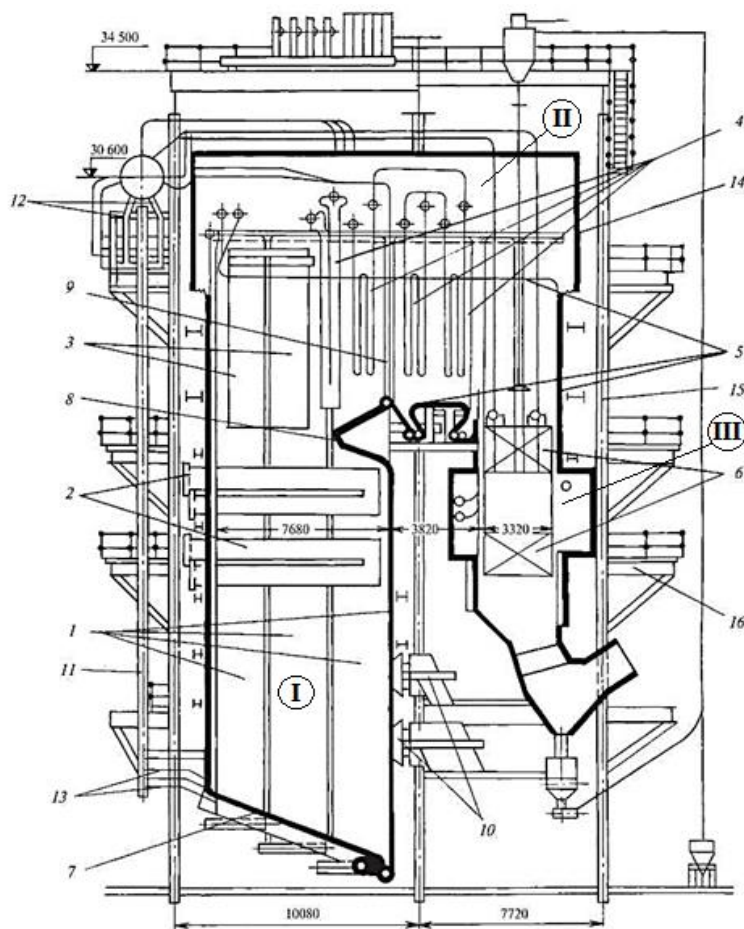
6.1 кесте - Стандарт бойынша қазандықтардың негізгі параметрлерінің номиналды мәндері

Қазандық түрі	Бу өнімділігі $D$ , т/сағ	Қазан шығысында бу қысымы $P_{к.бу}$ , МПа	Қыздырылған бу температурасы $t_{қ.бу}$ , °С	Қайта қыздырылған бу температурасы $t_{қ.қ.бу}$ , °С	Қоректену су температурасы $t_{қ.су}$ , °С
Е	100;160	1,4	250	—	100
	10; 16; 25; 35	2,4	250 (қаныққан немесе қыздырылған)	—	
	50; 75; 100; 150	2,4	250	—	
	10; 25; 35; 50; 75;100;160	3,9	440	—	145
	220; (160)	9,8	540	—	215
	(210); 320; 420; 500; 820	13,8	560	—	230
Еп,	670	13,8	545	545	240
Пп	1800	13,8	515	515	240
Кп	1000; 1650; 2650;3950	25,0	545	545	270

Ескертулер: 1. Е - табиғи айналымды (барабанды) қазандық; П - тік ағынды қазандық; К - мәжбүрлі айналымы бар тік ағанда қазандық; п – будың аралық қыздыруы болуы. 2. Жақшада заводттарда бұрын шығарылған қазандықтардың өнімділігінің  $D$  мәндері көрсетілген.

Мысал ретінде қыздырылған будың параметрлері үшін бу өнімділігі 500 т/сағ табиғи циркуляциялық барабан қазандығын қарастырайық: қысым 13,8 МПа, температура 560 °С. Қоректену суының температурасы 230 °С. Жағылатын отын табиғи газ және мазут.

Қазандықтың (6.3 сурет) компоновкасы II-тәрізді және аспалы құрылымы бар. Газ жолы қысыммен жұмыс істейді. Ошақтың барлық қабырғалары, көлденең (қосатын) газ қорабы және түтін-газ шахтасы газ өткізбейтін панельдерден жасалған. Ошаққа буландырғыш экрандар 1 және қабырғаға бекітілген таспалы бу қыздырғыш 2 орналастырылған, ошақ шығысында ширмалардың 3 екі сатысы орналасқан. Қосатын түтін қорабында конвективтік бу қыздырғыштың төрт сатысы орнатылған. Қазандық ошағының төбесі, қосатын газ қорабының бүйірлік және төменгі қабырғалары және конвективтік шахтасы бұмен салқындатылатын панельдермен 5 экрандалған.



I - ошақ; II - қосатын газ қорабы; III - конвективтік шахтасы;

1 - булану экрандары; 2 - радиациялық бу қыздырғыш; 3 - ширмалар; 4 - бу қыздырғыштың конвективті сатылары; 5 - қазандықтың газ қораптарын қоршауға арналған экрандар; 6 - экономайзер; 7 - ошақтың түбі; 8 - аэродинамикалық шығу; 9 - фестон; 10 - оттықтар; 11 - су түсіру құбыр; 12 - жеткізу құбырлары; 13 - тарату құбырлары; 14 - «жылы жәшік»; 15 - жақтау бағанасы; 16 - қызмет көрсету алаң (платформа)

6.3 сурет - Бу өнімділігі 500 т/сағ барабанды қазандықтың бойлық қимасы



## 6.2 Айналмалы қайнап тұрған қабаты бар қазандар

ЖЭО-ның отын балансына сапасы төмен қатты отынды тарту қажет болған кезде зиянды шығарындылар мөлшеріне қойылатын талаптарды күшейту айналмалы қайнап тұрған қабатта (АҚҚ) жанудың пайда болуына әкелді.

Мұндай жүйеде ошақтың төменгі бөлігіндегі қабат пен қабат үстіндегі көлем арасындағы нақты шекаралар болмайды. Бұл жағдайда айналымдағы материалдың массасы ауа массасынан бірнеше есе көп болады. АҚҚ режимінің ерекшелігі, циркуляция тізбегінен басқа, газ жылдамдығы қабаттағы барлық дерлік бөлшектердің көтерілу жылдамдығынан асып түседі.

Шетелдік тәжірибе көрсеткендей, АҚҚ жану технологиясы энергетикалық секторда пайдаланылған кезде дәстүрлі ұнтақталған жанумен бәсекелесе алады.

АҚҚ жану технологиясындағы ең тартымдысы оның жоғары экологиялық өнімділігі болып табылады, бұл азот пен күкірт тазарту қондырғыларын қолданбай-ақ төмен  $\text{NO}_x$  және  $\text{SO}_3$  шығарындыларын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қолда бар тәжірибелік мәліметтермен  $\text{NO}_x < 200 \text{ мг/м}^3$  және отын қабатына әктастың қосылуы есебінен 90%-ға дейін  $\text{SO}_3$  байланады.

### Бақылау сұрақтары

1. «Бу қазандығы» мен «қазандық қондырғы» ұғымдарының айырмашылығы неде?
2. Қазандық қондырғысының жолдарын атаңыз.
3. Бу қазандығы қандай қыздыру беттерінен тұрады?
4. Қазандықтың «ауа» және «газ-ауа» жолдарына не кіреді?
5. Барабанды қазандардың тізбектеріндегі ортаның қозғалысы неге байланысты жүзеге асады? Е типті қазандықтардың қолданылу аясы қандай?
6. Тік ағынды қазандықтың артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсетіңіз.
7. Қазандықтардың қандай параметрлері стандартпен анықталады?
8. Бу қазандығына қандай техникалық талаптар қойылады?
9. Қазандықтың қосалқы жабдығына қойылатын талаптарды атаңыз.
10. Газ-мазутты қазандықтағы қыздыру беттерінің сұлбасы және газ-мазутты қазандықтың ошағының конструктивтік ерекшеліктері қандай?
11. Қазанда буды бөлу (сепарация) қалай ұйымдастырылады?
12. Қатты бу қыздырғыш беттерді қосу реті қандай?
13. Газ-мазутты қазандығында ауаны жылытуды ұйымдастыру туралы айтып беріңіз.
14. Жануды ұйымдастыруда отынның ерекшеліктері немен ескеріледі?
15. АҚҚ қазандықтарының артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

## **7 Дәріс. АЭС-тің әр түрлерінің құрылымы және жұмыс атқару қағидасы**

### **7.1 Атом энергетикасының дүние жүзіне маңыздығы мен орны**

Атом электр станциялары (АЭС) - ядролық реактор қондырғыдан (ЯРҚ) және бу турбиналық қондырғыдан (БТҚ) тұрады, яғни атомдық жылу электр станциялары электр энергиясын өндіру үшін пайдаланатын кәсіпорындар.

Ядролық реактор қондырғысы жоғары параметрлі бу өндіру үшін пайдаланылады, БТҚ-дағы қазбалы отынмен жұмыс істейтін бу қазандығы сияқты жұмыс атқарады. ЯРҚ-ың жұмысын төменде талқыланады, енді біз оның бірнеше маңызды ерекшеліктерін ғана атап өтеміз:

- бу өндіру үшін жылу көзі нейтрондармен бөлінетін материал ядроларының үздіксіз жүретін реакциясы, ең алдымен ядролық отын қызметін атқаратын  $^{235}\text{U}$  уран изотопы;

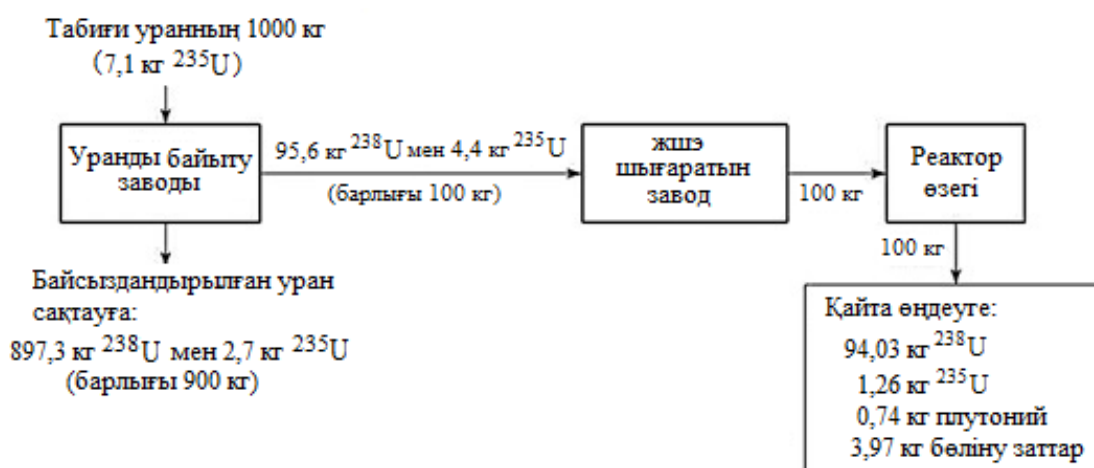
- ядролық реакторларда өндірілетін бу радиоактивті және бастапқы параметрлері төмен: көптеген ядролық реакторларда ол ылғалды бу және қысымы 7 МПа-дан жоғары емес, сондықтан оның температурасы  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  аспайды;

- техникалық себептерге байланысты ЯРҚ-да тірі будың қызып кетуін ғана емес, сонымен қатар органикалық отынмен жұмыс істейтін дәстүрлі ЖЭО-ның энергетикалық қазандығында салыстырмалы түрде оңай жүзеге асырылатын оның аралық қыздыруын ұйымдастыру мүмкін емес.

Атом электр станциясының бу турбиналық қондырғысы дәстүрлі БТҚ-дан түбегейлі ерекшеленбейді. Бар айырмашылықтар атом электр станциясының ерекшеліктеріне байланысты: бу турбинасы дымқыл бумен жұмыс істеуі керек, ал буды қайта қыздыру қажет болса, қыздыру бу турбинасының ішінде ұйымдастырылуы керек.

Атом электр станцияларының жылу электр станцияларынан негізгі айырмашылығы органикалық отынның орнына ядролық отынды пайдалану болып табылады. Ядролық отын табиғи ураннан алынады, ол не шахталарда, не ашық кен орындарында, не жерасты шаймалау арқылы өндіріледі. Табиғи уран негізінен бөлінбейтін уран изотопы  $^{238}\text{U}$  (99%-дан астам) және сәйкесінше ядролық отын болып табылатын бөлінетін  $^{235}\text{U}$  изотопының (0,71%) қоспасы. Атом электр станциясының реакторларының жұмыс істеуі үшін уранды байыту қажет.

Байытылған уран (дәлірек айтсақ, уран диоксиді) жылу шығаратын элементтерін (жшэ) жасайтын зауытқа жіберіледі. Уран диоксиді диаметрі шамамен 9 мм, биіктігі 15-30 мм цилиндрлік таблеткалар жасау үшін қолданылады. Бұл түйіршіктер ұзындығы 4 м дерлік герметикалық жабылған жұқа қабырғалы цирконий түтіктерге салынады. Бұл сол жылу шығаратын элементтер (жшэ). Жылу шығаратын элементтер саны бірнеше жүздеген элементтерден тұратын түйіндеріне жинақталады, бұл жинақтар реактор өзегіне ыңғайлы орналастырылады және шығарылады.



7.1 сурет - Отын цикліндегі ядролық отынның түрленуі

Барлық кейінгі «жану» процестері - ыдырау фрагменттерінің, радиоактивті газдардың пайда болуымен  $^{235}\text{U}$  ядроларының ыдырауы, түйіршіктердің ісінуі - жшэ түтігінің ішінде жүреді, олардың тығыздығына кепілдік беру керек.

Отын  $^{235}\text{U}$  бірте-бірте бөлініп, оның концентрациясын 1,26% дейін төмендеткеннен кейін (7.1-сурет), реактордың қуаты айтарлықтай төмендеген кезде, ядролық отын (жшэ) штангалары реактордан шығарылады, пайдаланылған отын бассейнінде біраз уақыт сақталады, содан кейін қоймаға жіберіледі.

Жылу электр станцияларында күл және басқа шығарындылар түріндегі қалдықтар болатыны сияқты, атом электр станцияларында да қалдықтар бар, бірақ олар ерекше түрге жатады.

Бұл, ең алдымен, пайдаланылған ядролық отын, сондай-ақ басқа да радиоактивті қалдықтар. Бұл қалдықтар кәдеге жаратылады: алдымен радиоактивтілікті азайту үшін реактор бөлімшесінің ішіндегі арнайы бассейндерде сақталады, содан кейін олар радиоактивті қалдықтарды сақтау қоймасына жіберіледі.

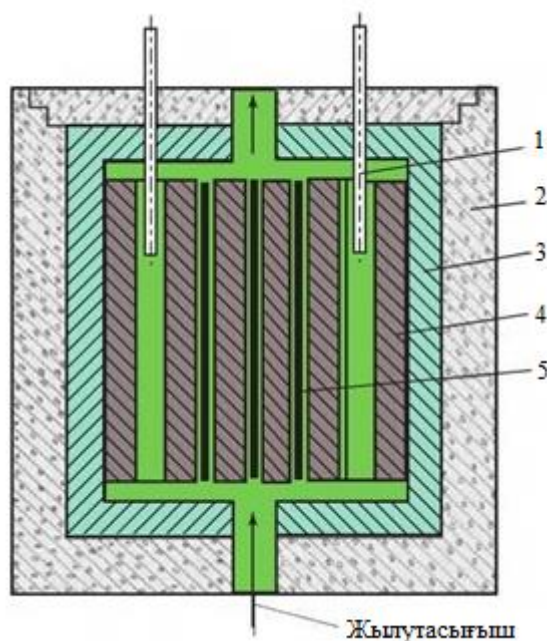
Атом электр станциясы - отын өзектеріндегі элементтердің радиоактивті ыдырауы кезінде бөлінетін жылудан электр энергиясын өндіретін кәсіпорын.

## 7.2 Ядролық реакторлардың түрлері

Термиялық (жылулық) деп аталатын нейтрондардағы ядролық реактордың принципіалды сұлбасы 7.2-суретте көрсетілген.

Бөлінетін элементтің ядросының ыдырауы оған нейтронның түсуі нәтижесінде болады. Бұл жағдайда үлкен жылдамдықпен қозғалатын бөліну фрагменттері (басқа элементтердің ядролары) және екі немесе үш жаңа нейтрон пайда болады. Соңғылары жаңа ядролардың ыдырауын тудыруға қабілетті және одан әрі процестің сипаты нейтрондардың тепе-теңдігінің өзгеруіне байланысты болады.

Егер нейтрондар саны үнемі артып отырса, онда термиялық жарылыс болады, егер ол азайса, реакция тоқтайды (немесе жылу шығарудың төменгі деңгейіне өтеді). Қолданыстағы нейтрондар санының стационарлық деңгейі неғұрлым жоғары болса, реактордың қуаты соғұрлым жоғары болады.



1 - басқару штангасы; 2 - биологиялық қорғау; 3 - рефлексор; 4 - баяулатқыш; 5 - жшэ (отын) штангасы

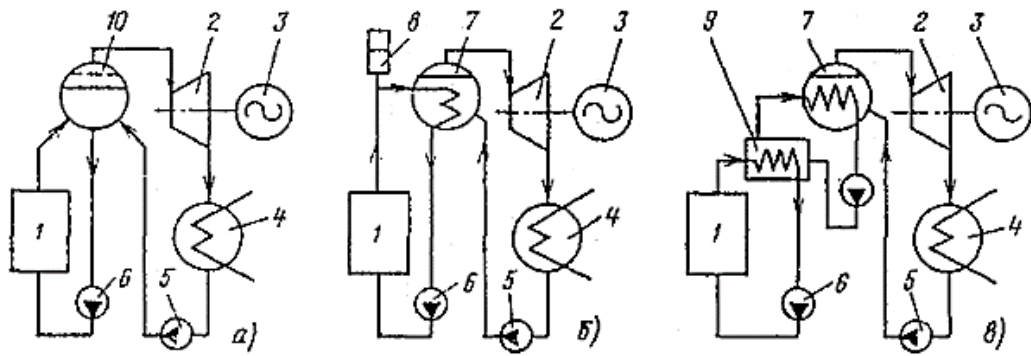
7.2 сурет - Жылулық нейтрондардағы ядролық реактордың сұлбасы

Ядролық реакторлардың су-сулы қысыммен жұмыс істейтін (ВВЭР) реакторлар және каналды жоғары қутты (РБМК) реакторлар қолданылады.

### 7.3 Жылу электр станцияларымен салыстырғанда атом электр станцияларының артықшылықтары мен кемшіліктері

Атомдық электр станциясының (АЭС) технологиялық сұлбасы ядролық реактордың және жылу тасымалдағыш түрлеріне байланысты. АЭС жылу схемасында бу ядролық реактордың өзінде әлде жылу тасымалдағыш арқылы бу генераторда өндіріледі. Атом электр станцияларының технологиялық схемалары бір-, екі- және үш контурлы болуы мүмкін (7.3 сурет). АЭС-ің бір контурлы жылу схемасында (7.3, а сурет) бу реактордың өзінде өндіріледі, демек реактор бу генератордың жұмысын атқарады.

АЭС екі контурлы сұлбасында (7.3, б сурет) жылу тасымалдағыш реактордан жылуды алып бу генератордағы сумен буға береді. Бірінші контурда жылу тасымалдағыш айналады, ал екінші контурда бу өндіріледі.

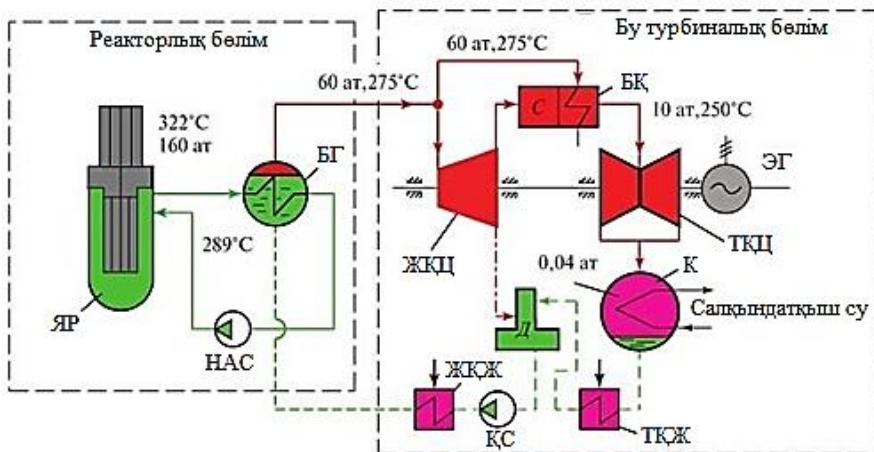


а-бір контурлы; б-екі контурлы; в-үш контурлы; 1- реактор; 2-бу турбина; 3-электр генератор; 4-конденсатор; 5-сумен қоректендіру сорғы; 6-циркуляциялық сорғы; 7-бу генератор; 8-көлем компенсаторы; 9-жылу алмастырғыш; 10-сепаратор

### 7.3 сурет - АЭС жылу сұлбалары

Үш контурлы АЭС жылу сұлбасы 7.3, в-суретінде көрсетілген.

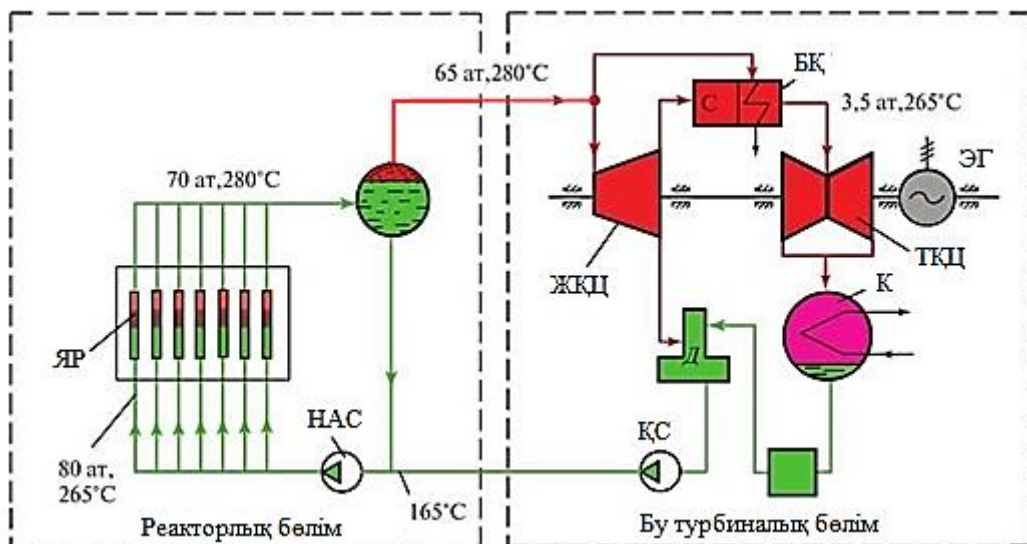
Екі контурлы атом электр станцияларын салу үшін ВВЭР типті реакторлар қолданылады (7.4 сурет).



ЯР-ядролық реактор; БГ-бу генератор; НАС-негізгі айналым сорғы; БҚ-бу қыздырғыш; С-сепаратор; ЖҚЦ-жоғары қысымды цилиндр; ТКЦ-төмен қысымды цилиндр; ЭГ-электр генератор; К-конденсатор; Д-деаэратор; ТКЖ-төмен қысымды жылытқыш; ЖҚЖ- жоғары қысымды жылытқыш; ҚС-қоректік сорғы;

7.4 сурет - Су-сулы ВВЭР типті реакторы бар екі контурлы АЭС сұлбасы (берілген мәндер ВВЭР-1000-ге қатысты)

Бір контурлы атом электр станциясының сұлбасы 7.5-суретте көрсетеді.



7.5 сурет - Бір контурлы АЭС сұлбасы, белгіленулер 7.4-суреттегідей

Бір контурлы АЭС-та бір жұмыс дене (сұйықтық) реактор арқылы да және бу турбинасы арқылы да айналып өтеді.

Атом электр станцияларының (АЭС) кез келген басқа электр станцияларынан басты артықшылығы олардың отын көздерінен практикалық тәуелсіздігі болып табылады, яғни уран кен орнынан қашықтығынан. Ядролық отынның энергетикалық баламасы қазба отынынан миллиондаған есе көп, сондықтан, айталық, көмірден айырмашылығы, оны тасымалдау құны өте аз. Көптеген елдер үшін атом электр станцияларында электр энергиясын өндіру ұнтақ көмір, тіпті газ-мазут жағатын ЖЭС-терге қарағанда қымбат емес.

Өндірілген электр энергиясының өзіндік құны бойынша атом электр станцияларының артықшылығы байқалды.

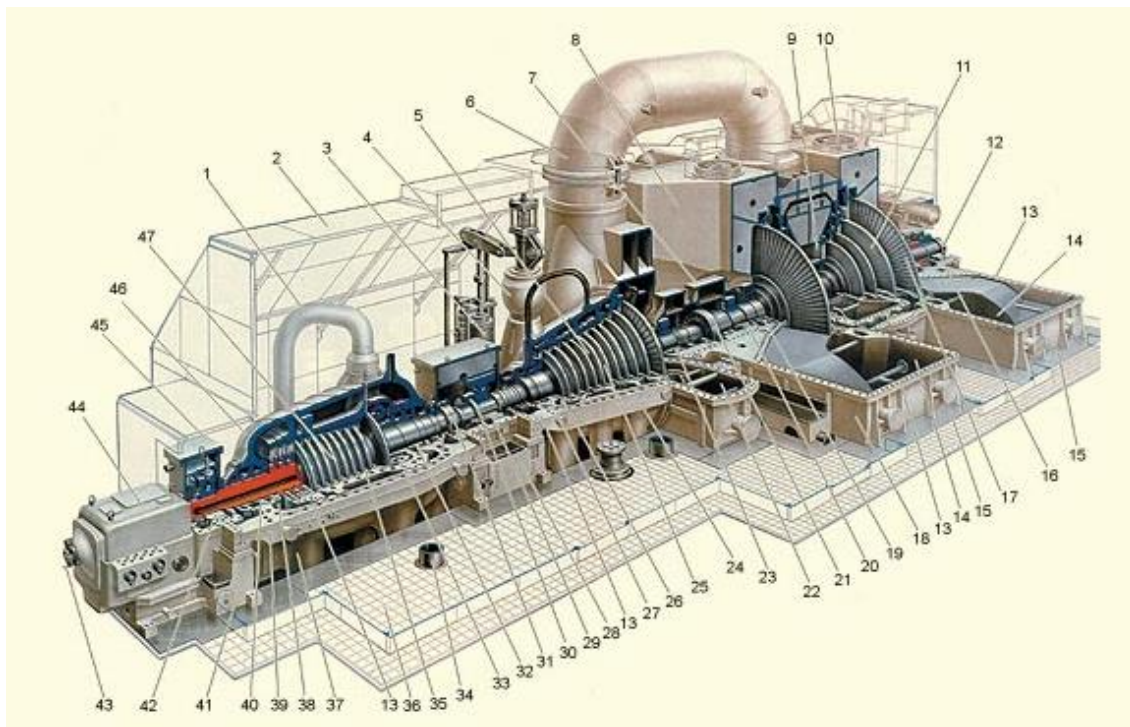
### Бақылау сұрақтары

1. Ядролық отын мен қазбалы отынның негізгі айырмашылығы неде?
2. Атом электр станцияларының тиімділігі қандай көрсеткіш бойынша бағаланады?
3. Неліктен атом электр станцияларының тиімділігін бағалау үшін шартты отынның меншікті шығысы қолданылмайды?
4. Ядролық реактордың негізгі элементтерін атаңыз.
5. Ядролық реактордың өзегі (активті зонасы) неден тұрады?
6. Екі контурлы АЭС-тің бір контурлыдан айырмашылығы неде?
7. Атом электр станцияларының жылу электр станцияларымен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?

## 8 Дәріс. Қазіргі заманғы бу турбиналарының құрылысы

### 8.1 Бу турбиналарының құрылысы

Түрі К-215-130 бу турбиасының құрылысы 8.1-суретте көрсетілген.



8.1 сурет - Түрі К-215-130 бу турбиасының көрінісі

Турбинаның ішкі құрылымын көру үшін оны бейнелеу кезінде алдыңғы жоғарғы жағы кесіліп «қиып алынып» көрсетілген. Дәл осылай турбинаның жабынының (кожухтың) 2 артқы бөлігі ғана көрсетілген. Турбина үш цилиндрден тұрады: жоғары қысымды цилиндр (ЖҚЦ), орта қысымды цилиндр (ОҚЦ) және төмен қысымды цилиндр (ТҚЦ), олардың корпустарының төменгі жартысы 39, 24 және 18 тиісінше белгіленген. Цилиндрлердің әрқайсысы статордан тұрады оның негізгі элементі қозғалмайтын корпус және айналмалы ротор. Цилиндрлердің бөлек роторлары (ЖҚЦ роторы 47, ОҚЦ роторы 5 және ТҚЦ роторы 11) муфталаар 31 және 21 арқылы қатты жалғанған. Жартылай муфтаға 12 электр генератордың роторы жартылай муфтамен қосылады және оған қоздырғыш роторы қосылған.

Цилиндрлердің, генератордың және қоздырғыштың жиналған бөлек роторларының тізбегін білік сызығы деп атайды. Цилиндрлердің көп санымен (және қазіргі турбиналардағы ең көп саны 5) біліктің ұзындығы 80 м жетуі мүмкін. Әдетте, роторлардың әрқайсысы екі тіректі подшипниктерінде орналастырылған. Білік сызығы бойы турбина біліктері 42, 29, 23, 20 және 16 тіректі подшипниктердің ішіндегі жұқа май қабықшада айналады және

подшипниктердің еңгізбесінің (мойынтірегiнiң) метал бетiне тимейдi (қажалмайды).

Кейде ЖҚЦ мен ОҚЦ роторларының арасында оларға ортақ бiр ғана тiректi подшипник орнатылады (8.1-суреттегi 29-поз). Турбинада кеңейетiн бу роторлардың әрқайсысының айналуын тудырады, оларда пайда болатын қуаттар қосылып, муфтаның жартысы 12 бойынша максималды мәнге жетедi.

Роторлардың әрқайсысына осьтiк күш әсер етедi. Олар бiрге қосылады және олардың пайда болған осьтiк күшi жотадан 30 подшипниктiң корпусында орнатылған тiреуiш сегменттерiне берiледi.

Роторлардың әрқайсысы цилиндр корпусында (24) орналастырылған. Жоғары қысымда (және қазiргi турбиналарда ол 30 МПа (300 атм) жетуi мүмкiн), цилиндр корпусы (әдетте ЖҚЦ) екi қабырғалы (iшкi 35 және сыртқы 46 корпустан тұрады). Бұл жағдайдың әрқайсысында қысым айырмашылығын азайтады, оның қабырғаларын жұқа етуге мүмкiндiк бередi, фланецтi қосылымдарды қатайтуды жеңiлдетедi және қажет болған жағдайда турбинаның қуатын жылдам өзгертуге мүмкiндiк бередi.

Барлық жағдайларда мiндеттi түрде көлденең қосқыштар 13 болады, олар орнату кезiнде роторларды цилиндрлердiң iшiне орнату үшiн, сондай-ақ қайта қарау және жөндеу кезiнде цилиндрлердiң iшкi бөлiгiне оңай қол жеткiзу үшiн қажет. Турбинаны монтаждау кезiнде корпустардың төменгi жартысының қосқыштарының барлық жазықтықтары арнайы түрде орнатылады (қарапайымдылық үшiн қосқыштың барлық жазықтықтары бiр көлденең жазықтықта бiрiктiрiлген деп болжауға болады). Кейiнгi орнату кезiнде бiлiк осi осы бөлу жазықтығына орналастырылады, бұл туралауды қамтамасыз етедi - бiлiк осi корпустардың сақиналы саңылауларының осiмен дәл сәйкес келедi. Бұл ротордың статорға үйкелуiне жол бермейдi, үйкелу ауыр апатқа әкелуi мүмкiн.

Турбина iшiндегi бу жоғары температураға ие, ал ротор подшипниктiң мойынтiрегiндегi майлы қабықшада айналады, оның май температурасы өрт қауiпсiздiгi шарттарына байланысты да, белгiлi бiр майлау қасиеттерiне ие болу қажеттiлiгiне байланысты да 100 °С аспауы керек (және жеткiзiлетiн және шығарылатын майдың температурасы әлi де төмен болуы керек). Сондықтан подшипниктiң мойынтiреiмен цилиндр корпустарынан шығарылып, арнайы құрылымдарға – тiректер корпусына орналастырылады (8.1-суреттегi 45, 28, 7-позициялар). Осылайша, сәйкес цилиндрдiң роторларының әрқайсысының айналмалы ұштары айналмайтын статордан шығарылуы керек және бiр жағынан ротордың статорға кез келген (тiптi ең кiшкентай) тiп кетуi мүмкiн болмайтындай етiп шығарылуы керек, ал екiншi жағынан, цилиндрден ротор мен статор арасындағы саңылауға будың айтарлықтай ағуы да болмауы керек, өйткенi бұл турбинаның қуаты мен тиiмдiлiгiн төмендетедi. Сондықтан цилиндрлердiң әрқайсысы арнайы конструкциясымен шеткi (соңғы) тығыздағыштарымен (40, 32, 19) қамтамасыз етiледi.



Турбина ЖЭО-ның бас ғимаратында жоғарғы іргетас тақтайшасына 36 орнатылады. Цилиндрлердің санына сәйкес цилиндр корпустарының төменгі бөліктері орналасқан тақташаларда тікбұрышты терезелер жасалады.

Олар регенеративті жылытқыштар құбырлардың өтуін қамтамасыз ететіндей жасалады, жаңа және қыздырылған бу құбырлары, конденсаторға өту құбыры да өтетіндей.

Өндірілгеннен кейін турбина өндірістік зауытта бақылау құрастыруынан және сынақтан өтеді. Осыдан кейін оны азды-көпті үлкен блоктарға бөлшектеп, түрін жақсартып, консервациялап, буып-түйіп, жылу электр станцияларына жинап орнатуға жібереді.

Турбинаны жинап орнату келесі ретпен жүзеге асырылады. Біріншіден, ТҚЦ корпусының 18 төменгі жартысы екі ТҚЦ-ің шығыс құбырларының периметрі бойынша орналасқан тірек белбеуімен 15 орнатылады. Төмен қысымды цилиндрде оларға дәнекерленген ротордың өз тіректері бар. Содан кейін, ЖҚЦ және ОҚЦ астындағы терезелер арасындағы өткелде және терезенің сол жағында ЖҚЦ астындағы терезенің сол жағында, тиісінше, 28 және 41 тірек корпустарының төменгі жартылары орналастырылады. Осыдан кейін сыртқы цилиндрдің төменгі жартылары 39 және 24 корпустары тіреулерге ілінген. Оларға статор элементтері орналастырылған және барлық турбиналық цилиндрлер орталықтандырылған.

Подшипниктердің мойынтіректерінің 42, 29, 23, 20 және 16 төменгі жартысы ротордың тіректеріне салынып, жеке роторлар оларға түсіріледі. Олар бір-біріне қатаң түрде орталықтандырылады және 31 және 21 муфталар арқылы қосылған.

Содан кейін, қажетті статордың ішкі элементтері корпустардың жоғарғы жартысына орналастырылады және турбина жабылады. Бұл үшін корпустардың көлденең қосқыштарындағы тесіктерге шпилькаларды бұрап, жоғарғы жартыларды (қақпақтар, 8.1-суреттегі 46-поз) түсіреді, содан кейін шпилькаларды және арнайы құрылғыларды пайдалана отырып, жоғарғы және төменгі жартыларды түсіреді де корпустар фланецті қосқыштар бойымен мықтап тартылады. Ротордың тіректері дәл осылай жабылады. Турбинаны оқшаулағаннан кейін, оны корпуспен (кожухпен) қоршап, көптеген тексерулерден кейін ол жүктемені көтеруге жарамды күйге келтіріледі.

Турбина жұмыс істеп тұрған кезде қазандықтағы бу бір немесе бірнеше бу құбырлары арқылы (бұл турбинаның қуатына байланысты) алдымен негізгі бу клапанына, содан кейін тоқтату клапанына (бір немесе бірнеше) және, ең соңында, реттегіш клапандары (әдетте төрт). Реттегіш клапандарынан (олар 8.1-суретте көрсетілмеген) бу айналма құбырлар 1 арқылы (8.1-суретте олардың төртеуі бар: олардың екеуі сыртқы ЖҚЦ корпусының қақпағына 46 қосылған, ал қалған екеуі корпустың төменгі жарты бөлігіне буды береді) ЖҚЦ ішкі корпусының бу қабылдау камерасына 33 беріледі. Бұл қуыстан бу турбинаның ағын жолына түседі және кеңейе отырып, ЖҚЦ шығыс камерасына 38 жылжиды. Бұл камерада ЖҚЦ корпусының төменгі жартысында

екі шығатын құбыр 37 бар. Оларға бу құбырлары дәнекерленген, олар аралық қайта қыздырылу үшін бу қазандыққа бағытталып жіберіледі.

Екінші рет қыздырылған бу құбырлар арқылы тоқтатқыш клапан арқылы (8.1-суретте көрсетілмеген) ОҚЦ-дің реттегіш клапандарға 4, ал олардан ОҚЦ-ің бу кіретін қуысына 26 өтеді. Содан кейін бу ОҚЦ ағындық бөлігінде кеңейіп, оның шығыс құбыры 22 ішіне кіреді, ал одан соң екі айналма құбырға 6, олар ТҚЦ-дан бу қабылдау камерасына 9 бұды береді. Бір ағынды ЖҚЦ және ОҚЦ айырмашылығы, ТҚЦ әрқашан екі ағынды ретінде орындалады: бу камерасына 9 түскен бу екі бірдей ағынға бөлінеді және олардан өтіп, ТҚЦ-дің шығыс құбырларына 14 түседі. Олардан бу әрі қарай конденсаторға төмен бағытталады.

Алдыңғы тірек 41 алдында турбинаны реттеу және басқару блогы 44 орнатылған. Оның басқару механизмі 43 турбинаны іске қосуға, жүктеуге, жүктемені түсіруге және тоқтатуға мүмкіндік береді.

## **8.2 Ағын бөлігі және турбинаның жұмыс істеу принципі**

Бу турбинаның ішкі ағындық бөлігі турбинаның ең күрделі және ең қымбат элементі болып табылады. Оны құрудың күрделілігі өндіріске, материалдарға, монтажға қойылатын жоғары технологиялық талаптармен ғана емес, ең алдымен ғылымның аса қарқындылығымен де анықталады: механика сияқты, сұйықтық динамикасы, автоматты басқару теориясы, сыну механикасы, арнайы басқа пәндер ғылым салаларында жақсы білімсіз тіпті орташа турбинаны жасау мүмкін емес.

Бу турбинасы мен оның ішкі бөліктері саптамалар мен жұмыс қалақтардан тұрады. Саптамалар торы шеңбер бойымен бір-бірінен бірдей қашықтықта орнатылған бірдей саптама қалақтарынан тұрады. Жұмыс қалақтар турбина роторында орналасқан.

Осылайша, қозғалмайтын турбина корпусының ішіндегі кеңістікте орналасқан саптамалардан өткен бу ротордағы қалақтарға әсер етеді. Ротор қалақшасына айналмалы күш әсер етсе, онда ротор айналады.

## **8.3 Бу турбиналарының түрлері және оларды қолдану салалары**

Бу турбиналары қажеттілігіне қарай көліктік және стационарлық болып бөлінеді. Көбінесе көліктік бу турбиналары үлкен кемелердің винттерін айландыру үшін қолданылады.

Стационарлық бу турбиналары – жұмыс кезінде орнын өзгеріссіз сақтайтын турбиналар. Энергетика саласында тек стационарлық бу турбиналары қолданылады. Өз кезегінде стационарлық бу турбиналарын бірқатар критерийлер бойынша жіктеуге болады.

1. Мақсаты бойынша энергетикалық, өндірістік және көмекші турбиналар болып бөлінеді.

Энергетикалық турбиналары электр желісіне қосылған электр генераторын айналдыру және ірі тұтынушыларды, мысалы, тұрғын үйлерді, қалаларды және т.б. жылумен қамтамасыз ету. Олар ірі шықтағышты электр станцияларында (ШЭС), атом электр станцияларында (АЭС) орнатылады.

Энергетикалық турбиналар, ең алдымен, жоғары қуаттылықпен, ал олардың жұмыс режимі - желі жиілігінің тұрақтылығымен анықталатын тұрақты жылдамдықпен сипатталады.

Өнеркәсіптік турбиналар жылу және электр энергиясын өндіру үшін де қолданылады, бірақ олардың негізгі мақсаты өнеркәсіптік кәсіпорынға қызмет көрсету, мысалы, металлургиялық, тоқыма, химия, қант өңдеу зауыты және т.б. Көбінесе мұндай турбиналардың генераторлары аз қуатта жұмыс істейді, жеке электр желісі болып табылады және кейде домна пештерінің үрлегіштері сияқты ауыспалы жылдамдықтағы агрегаттарды жүргізу үшін қолданылады.

Көмекші турбиналар электр энергиясын өндіру процесін қуаттандыру үшін пайдаланылады, әдетте қоректік сорғылар мен қазандық үрлегіштерді басқарады.

2. Бу турбинасынан алынатын энергия түріне қарай олар конденсациялық (шықтағышты) және жылуландыру болып бөлінеді.

Конденсациялау турбиналарында (К типті) соңғы сатыдағы бу конденсаторға жіберіледі, оларда реттелетін бу алымдары болмайды, дегенмен, әдетте, қоректік суды регенеративті қыздыру үшін, кейде сыртқы жылу тұтынушылары үшін де көптеген реттелмейтін бу алымдары бар. Конденсациялау турбиналарының негізгі мақсаты электр энергиясын өндіруді қамтамасыз ету, сондықтан олар қуатты жылу электр станциялары мен атом электр станцияларының негізгі қондырғылары болып табылады. Ең ірі конденсаторлық турбиналық қондырғылардың қуаты 1000-1500 МВт-қа жетеді.

Жылуландыру (когенерациялық) турбиналарда алдын ала белгіленген қысым сақталатын бір немесе бірнеше реттелетін бу алымдары болады. Олар жылу мен электр энергиясын өндіруге арналған және олардың ең үлкенінің қуаты 250 МВт. Жылуландыру турбинасын бу конденсациясымен немесе онсыз жасауға болады. Бірінші жағдайда оның ғимараттарды, кәсіпорындарды және т.б. жылытуға арналған жылу желілерінің суын жылытуға арналған жылыту бу алымдары (Т-типті турбиналар) немесе өнеркәсіптік кәсіпорындардың технологиялық қажеттіліктері үшін өндірістік буды алу (П-типті турбиналар) немесе екі бу алымдары да (ПТ және ПР турбиналары) болуы мүмкін.

Егер бу турбинадан кейін бірден өндіріске алынса, онда оны кері қысымды турбина (Р-типті турбина) деп атайды. Онда соңғы сатыдағы бу конденсаторға емес, әдетте өндірістік тұтынушыға жіберіледі. Осылайша, кері қысымды турбинаның негізгі мақсаты берілген қысымда (0,3–3 МПа шегінде) буды өндіру болып табылады. Кері қысымды турбинаның реттелетін жылу немесе өнеркәсіптік бу алымдары да болуы мүмкін, бұл жағдайда ол ТР немесе ПР түріне жатады.

Жылытуға бу алымы бар когенерациялық турбиналар (Т типті) максималды жылу алу жүктемесінде өндіру аймағының артында орналасқан сатылар қуат тудырмайтындай етіп жасалған. Соңғы жылдары бірқатар турбиналар максималды жүктеме кезінде де соңғы сатылар қуат алатындай етіп құрастырылды. Мұндай турбиналар ТК типтіге жатады.

3. Пайдаланылатын будың бастапқы параметрлері бойынша бу турбиналарын критикалық асты және аса критикалық бастапқы қысымды, қатты қызған және қаныққан бу, қыздырусыз және буды қайта қыздыратын турбиналарға бөлуге болады.

Будың критикалық қысымы шамамен 22 МПа, сондықтан алдындағы бастапқы бу қысымы осы мәннен аз болатын барлық турбиналар критикалық қысымнан төмен болатын бу турбиналары болып табылады. Бу турбиналары үшін стандартты критикалыққа дейінгі (субкритикалық) қысым 130 атм (12,8 МПа) болып таңдалды, сонымен қатар 90 атм (8,8 МПа) бастапқы қысым үшін турбиналардың белгілі бір пайызы сақталды.

АЭС және ЖЭС үшін барлық бу турбиналары (250 МВт когенерациялық турбинаны қоспағанда), сондай-ақ жылу электр станциялары үшін қуаты 300 МВт-тан төмен турбиналар критикалық емес параметрлер бойынша жасалған.

Барлық қуаты жоғары конденсациялық блоктары (300, 500, 800, 1200 МВт), сондай-ақ 250 МВт когенерациялық қуат блогы аса критикалық бу параметрлеріне (АКК) - 240 атм (23,5 МПа) және 540 °С арналған.

4. Электрлік жүктеме графигінде қолданылуы бойынша бу турбиналары базалық және жартылай пикті болып екіге бөлінеді. Негізгі турбиналар номиналды жүктемеде немесе оған жақын жерде үздіксіз жұмыс істейді. Олар турбина да, турбиналық қондырғы да барынша үнемді болатындай етіп жасалған. Жартылай пиктік турбиналар аптаның соңында (жұма түнінен дүйсенбіге дейін таңертең) және тәулікті (түнде) мерзімді өшірулермен жұмыс істеуге арналған.

5. Конструкциялық ерекшеліктері бойынша бу турбиналары цилиндрлер санына, айналу жылдамдығына және білік санына қарай жіктелуі мүмкін.

Цилиндрлер саны бойынша турбиналар бір цилиндрлі және көп цилиндрлі болады. Конденсациялық турбиналар бір цилиндрлі (қуаты 50-60 МВт-қа дейін), екі цилиндрлі (100-150 МВт-қа дейін), үш цилиндрлі (300 МВт-қа дейін), төрт цилиндрлі (500 МВт-қа дейін) болуы мүмкін. ) және бес цилиндрлі (1300 МВт-қа дейін) жасалады.

Білік сызығы саны бойынша турбиналар бір білікті (бір білік сызығы бар - жеке цилиндрлердің роторлары және муфталар арқылы қосылған генератор) және екі білікті турбиналар (эрқайсысының жеке генераторы бар екі білік сызығы бар және тек бу ағын арқылы қосылған).

Айналу жиілігі бойынша турбиналар жоғары жылдамдықты және төмен жылдамдықты болып бөлінеді. Жоғары жылдамдықты турбиналардың айналу жылдамдығы 3000 айн/мин – 50 с<sup>-1</sup>. Олар роторы екі магниттік полюсі бар электр генераторын басқарады (жетек ретінде), сондықтан ол шығаратын

токтың жиілігі 50 Гц. Біздің елімізде және бүкіл әлемде жылу электр станцияларына және ішінара атом электр станцияларына арналған бу турбиналарының көпшілігі осы генератор жылдамдығымен салынған.

Турбиналардың түрлерін көрсету үшін стандарт әріптік және сандық бөліктерден тұратын арнайы таңбалауды қарастырады.

Әріптік бөлік турбинаның түрін көрсетеді, одан кейін сан – турбинаның мегаватттағы номиналды қуаты көрсетіледі. Егер турбинаның максималды қуатын келтіру қажет болса, онда оның мәні қиғаш сызық арқылы беріледі. Келесі сан турбина алдындағы номиналды бу қысымын мегапаскальмен көрсетеді: когенерация турбиналары үшін әрі қарай қиғаш сызық арқылы бу алымдағы қысымды немесе мегапаскальдағы кері қысымды көрсетеді. Соңында, соңғы сан, егер бар болса, өндіруші қабылдаған турбинаның модификациялық нөміріне сәйкес келеді.

Турбиналарды белгілеудің кейбір мысалдары:

К-210-12,8-3 турбинасы - К типті, номиналды қуаты 210 МВт, будың бастапқы абсолютті қысымы 12,8 МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>), үшінші модификация.

Турбина Р-6-3,4/0,5 - Р типті (кері қысымды), номиналды қуаты 6 МВт, бастапқы абсолютті бу қысымы 3,4 МПа және бу алымдағы будың абсолютті қысымы 0,5 МПа.

Т-110/120-12,8 турбинасы Т (жылуландыру - когенерациялық) типті, номиналды қуаты 110 МВт және максималды қуаты 120 МВт, будың бастапқы абсолютті қысымы 12,8 МПа.

ПТ-25/30-8,8/1 турбинасы ПТ типті, номиналды қуаты 25 МВт және максималды қуаты 30 МВт, будың бастапқы абсолютті қысымы 8,8 МПа (90 атм) және бу алымдағы абсолютті қысымы 1 МПа.

Р-100/105-12,8/1,45 турбинасы Р типті, номиналды қуаты 100 МВт және максималды қуаты 105 МВт, будың бастапқы абсолютті қысымы 12,8 МПа және абсолютті кері қысымы 1,45 МПа.

Турбиналық ПР-12/15-8,8/1,45/0,7 - ПР типті, номиналды қуаты 12 МВт және максималды қуаты 15 МВт, бастапқы абсолютті қысымы 8,8 МПа, бу алымдағы абсолютті қысымы 1,45 МПа және кері қысымы 0,7 МПа.

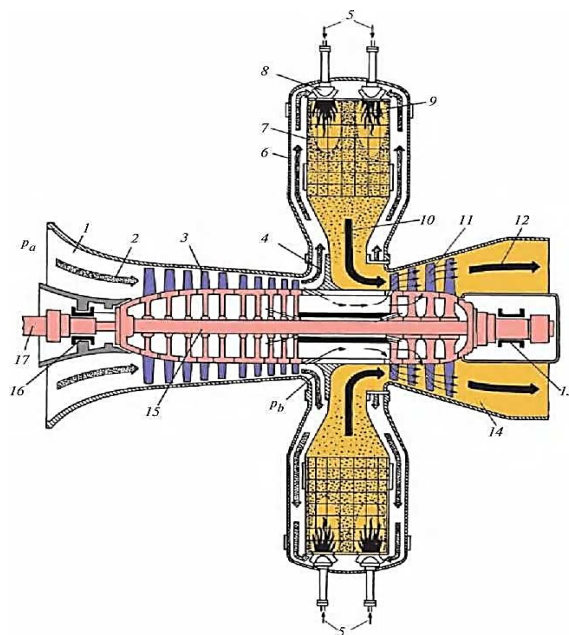
## **Бақылау сұрақтары**

1. Бу турбинаның негізгі элементтері қандай?
2. Турбинаның ағындық бөлігінің құрылысы қандай?
3. Турбиналық сатыға қандай элементтер кіреді және бұл элементтер қандай қызметтер атқарады?
8. Ротордың құрылысы қандай?
9. Бу турбиналарының қандай түрлері қолданылады?
10. Будың бастапқы параметрлері бойынша бу турбиналары қалай жіктеледі?
11. Жоғары және төмен жылдамдықты бу турбиналарының генераторының конструкциясының айырмашылығы неде?

## 9 Дәріс. Қазіргі заманғы энергетикалық газ турбиналық қондырғылардың құрылысы

Газ турбиналық қозғалтқыш бұл газ турбиналық агрегаттың (ГТА) бөлігі болып табылады, ал ГТА газ турбины қозғалтқыштан (ГТҚ) және электр генераторынан (ЭГ) тұрады. ГТА және оның жұмыс істеуіне қажетті көптеген қосалқы жабдықтардан тұратын қондырғы - газ турбиналық қондырғы (ГТҚ) деп аталады. Газ турбины қозғалтқыш компрессордан, жану камерасынан және газ турбинынан тұрады. Газ турбины қозғалтқыш ГТҚ-ың негізгі элементі болып табылатын. Газ турбиналық қондырғылардың өте көп түрлі бар, мүмкін тіпті бу турбиналарынан да көп. Төменде электр энергетикасында қарапайым циклдің ең перспективалы және ең көп қолданылатын газ турбиналары қарастырылады.

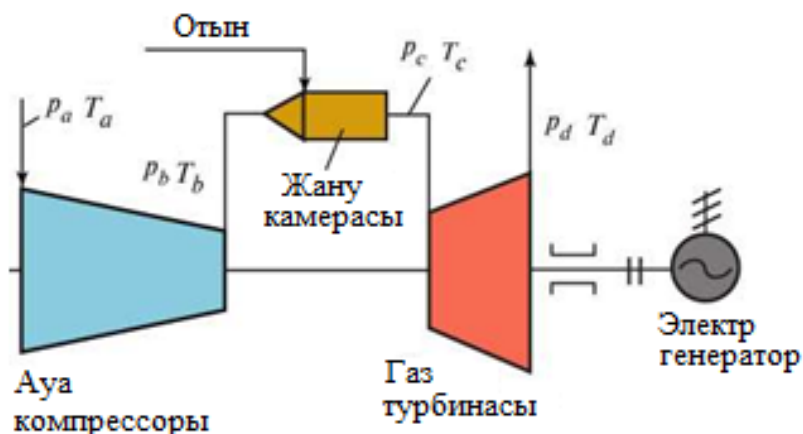
Осындай газ турбинаның газ турбины қозғалтқышының принципіалды схемасы 9.1-суретте көрсетілген. Атмосферадағы ауа ауа компрессорына түседі, ол айналмалы және қозғалмайтын торлардан тұратын ағын жолы бар айналмалы турбомашина болып табылады.



1 - ауа компрессорының кіріс құбыры; 2 - атмосферадан алынатын ауа; 3 - ауа компрессорының ағындық бөлігі; 4 - сығылған ауа; 5 - отын; 6 - жану камерасының корпусы; 7 - жалын түтігі; 8 - оттық құрылғылары; 9 - алау; 10 - ыстық газдар; 11 - газ турбинаның ағындық бөлігі; 12 - ГТҚ-дан шығарылған газдар; 13 - тірек подшипнигі; 14 - шығыс диффузоры; 15 - ротордың ілінісу болты; 16 - тіректі-тіреуіш подшипнигі; 17 - электр генераторын қосуға арналған аралық білік

9.1 сурет - Газ турбиналық қозғалтқыштың сұлбасы (Siemens проспектінен алынған сурет)

Газ турбиналық қондырғының сұлбаларын бейнелеу үшін стандартты белгілер қолданылады (9.2 сурет).



9.2 сурет - Қарапайым газ турбиналық қондырғының сұлбасы

9.1 және 9.2-суреттерді қарастыра отырып, сипатталған ГТҚ-лар неліктен қарапайым циклді ГТҚ деп аталатыны түсінікті болады. Бұдан қарапайым газ турбиналық қондырғы болуы мүмкін емес, өйткені оның құрамында жұмыс сұйықтығын қысу, қыздыру және кеңейтудің дәйекті процестерін қамтамасыз ететін ең аз қажетті компоненттер бар: бір компрессор, бірдей жағдайларда жұмыс істейтін бір немесе бірнеше жану камералары және бір газ турбинысы. Қарапайым циклді газ турбиналарымен қатар күрделі циклді газ турбиналары бар, оларда бірнеше компрессорлар, турбиналар және жану камералары болуы мүмкін.

ГТҚ пайдаланылған газдардың жоғары температурасына байланысты жоғары үнемді емес. Сұлбасының күрделенуі оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді, бірақ сонымен бірге ол күрделі салымдарды ұлғайтуды талап етеді және жұмысты қиындатады.

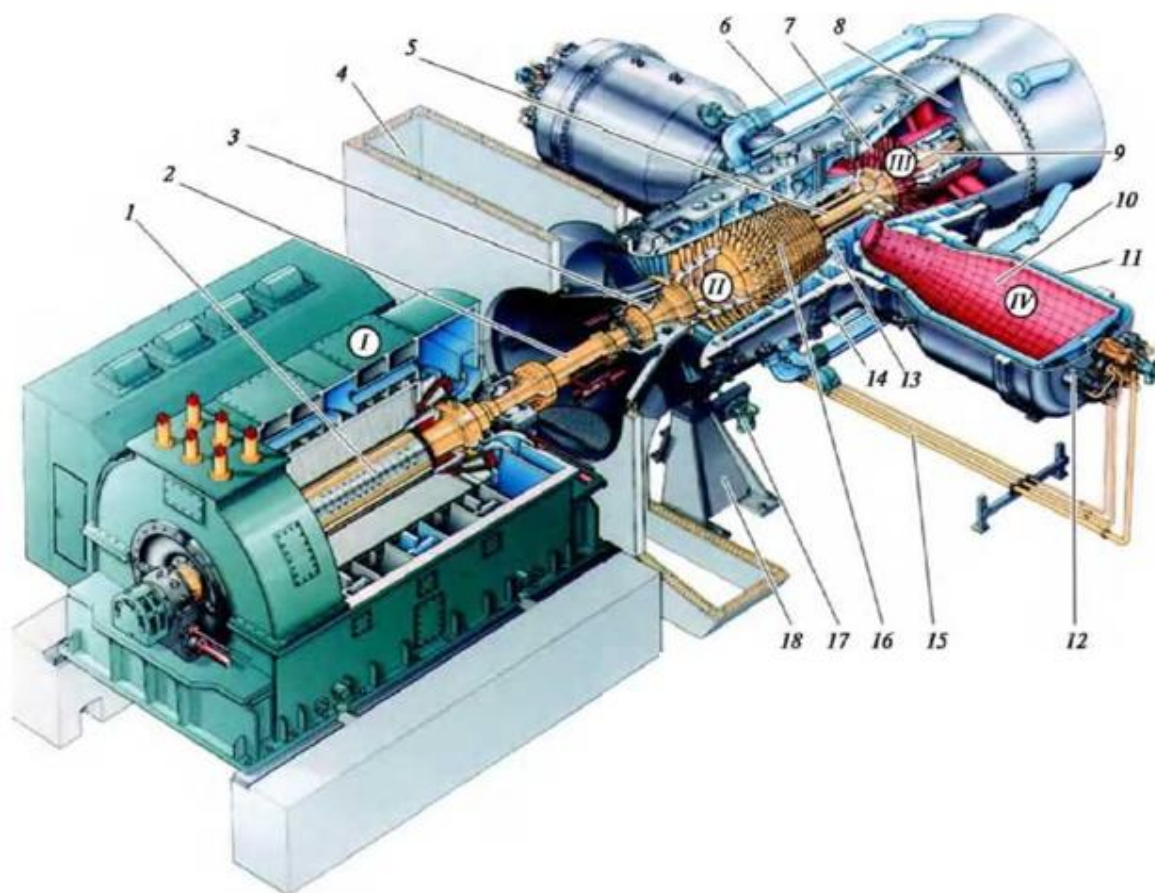
9.3-суретте Siemens компаниясының ГТҚ V94.3 нұсқасы көрсетілген.

Ауа компрессоры - бұл турбомашина, оның білігіне қуат газ турбинысынан беріледі; бұл қуат компрессордың ағын жолы арқылы өтетін ауаға беріледі, нәтижесінде ауа қысымы жану камерасындағы қысымға дейін көтеріледі.

Газ турбиналы қозғалтқыштардың (ГТҚ) жану камералары өте көп түрлі болады: қашықта орналасқан, құбырлы-сақиналы, сақиналы. Қашықтағы екі камерасы бар газтурбиналық қозғалтқыштар болады. Қашықтықта орналасатын жану камераларының негізгі кемшілігі олардың үлкен габариттік өлшемдері болып табылады. Камераның оң жағында газ турбинысы, сол жағында компрессор орналасады.

Газ турбиналы қондырғының құбырлы-сақиналы жану камерасы болады. Ауа компрессорының шығыс бөлігі мен газ турбинысының кіріс бөлігі арасындағы сақиналы кеңістікте жалын түтіктері орналастырылған.

Жалын түтігінде сақиналы жолдармен орналасқан диаметрі 1 мм көптеген тесіктер бар, солар арқылы газ беріліп жанады. Жану өнімдері газ турбинаға беріледі.



1 - электр генераторының роторы; 2 - аралық білік; 3 - ротордың алдыңғы тірегі; 4 - кіріктірілген ауа тазалау құрылғысынан ауа беруге арналған шахта қорабы; 5 - ГТҚ роторының ілінісу болты; 6 - айналма өту құбырлар; 7 - газ турбинаның ағындық бөлігі; 8 - ГТУ шығыс құбыры (диффузор); 9 - ротордың артқы тірегі; 10 - жану камерасының жалын түтігі; 11 - жану камерасының корпусы; 12 - оттық құрылғылары; 13 - компрессордың шығыс диффузоры; 14 - газ турбиасы корпусының элементтерін және саптама қалақтарын салқындату үшін ауаны беруге арналған құбыр; 15 - отын газымен жабдықтау құбырлары; 16 - компрессордың ағындық бөлігі; 17 - кіріс бағыттаушы қалақшаның сервомоторы; 18 - ГТҚ-ың алдыңғы тірегі; I – электр генераторы; II - компрессор; III - турбина; IV - жану камерасы

9.3 сурет - Siemens ГТҚ-ның түрі V94.3 құрылысы (Siemens проспектінен алынған сурет)

Газ турбиасы әдетте үш немесе төрт сатыдан тұрады.

Газ турбинаның басты артықшылығы оның ықшамдылығы болып табылады. Шынында да, ең алдымен, газ турбиасында бу қазандығы жоқ - бұл үлкен биіктікке жететін құрылым және орнату үшін бөлек бөлме қажет. Бұл



жағдай, ең алдымен, жану камерасындағы жоғары қысымға байланысты (1,2-3 МПа); қазандықта жану атмосфералық қысымда жүреді және, тиісінше, пайда болған ыстық газдардың көлемі 12-30 есе үлкен.

Әрі қарай, газ турбинысында газдардың кеңею процесі тек үш-бес сатыдан тұратын газ турбинысында жүреді, ал бірдей қуатқа ие бу турбинысы 25-40 сатыдан тұратын үш-төрт цилиндрден тұрады. Тіпті жану камерасын да, ауа компрессорын да ескере отырып, 150 МВт газ турбинысы ұзындығы 8-12 м, ал үш цилиндрлі конструкциясы бар бірдей қуаттағы бу турбинысының ұзындығы 1,5 есе көп. Бұл ретте бу турбинысы үшін қазандықтан басқа циркуляциялық және конденсат сорғылары бар конденсаторды, жетіден тоғызға дейін қыздырғыштан тұратын регенерация жүйесін және деаэратор, қоректік турбосорғыларды (бірден үшке дейін) орнатуды қамтамасыз ету қажет. Нәтижесінде, газ турбинылық қондырғыны турбинылық залдың нөлдік деңгейіндегі бетон негізіне орнатуға болады, ал БТҚ үшін іргетастың үстіңгі плитасында биіктігі 9-16 м қаңқа іргетасында бу турбинысын және конденсация бөлмесінде қосалқы жабдықтарды орналастыру қажет. Газ турбинының жинақылығы оны турбинылық зауытта құрастыруға, қарапайым іргетасқа орнату үшін темір жол немесе автомобиль көлігімен машина бөлмесіне жеткізуге мүмкіндік береді.

Газ турбинысы салқындатқыш суды қажет етпейді. Нәтижесінде газ турбинысында конденсатор және сорғы қондырғысы және салқындату мұнарасы (айналмалы сумен жабдықтау) бар қызметтік сумен жабдықтау жүйесі жоқ. Нәтижесінде, мұның бәрі газтурбинылық электр станциясының белгіленген қуаттылығының 1 кВт құнының әлдеқайда аз болуына әкеледі. Сонымен бірге, ГТҚ-ның өзіндік құны (компрессор + жану камерасы + газ турбинысы) күрделілігіне байланысты бірдей қуаттағы бу турбинысының құнынан 3-4 есе жоғары болып шығады.

Газ турбинысының маңызды артықшылығы оның төмен қысым деңгейімен (бу турбинысындағы қысыммен салыстырғанда) анықталатын жоғары маневрлік, демек, қауіпті термиялық кернеулер мен деформацияларсыз жеңіл жылыту және салқындату болып табылады.

Дегенмен, газ турбинылары да айтарлықтай кемшіліктерге ие, олардың ішінде, ең алдымен, бу турбинылық қондырғысына қарағанда үнемділігі азырақ екенін атап өткен жөн. Газ турбиныларының орташа ПӘК-і 37-40%, ал бу турбинылық энергоблоктардың 42-43% құрайды.

Күшті қуатты газ турбинылары үшін «төбелі», қазіргі уақытта көрініп тұрғандай, тиімділік 41-42% құрайды (және бастапқы температураны арттырудың үлкен қорын ескере отырып, одан да жоғары болуы мүмкін). ГТҚ тиімділігінің төмен болуы пайдаланылған газдардың жоғары температурасымен байланысты.

Газ турбинылары төмен сортты отынды пайдалану мүмкін емес. Ол тек газда немесе дизель сияқты жоғары сапалы сұйық отынмен жақсы жұмыс істей алады. Бу турбинылық қондырғылар кез келген отынмен, соның ішінде сапасыз отынмен жұмыс істей алады.

Газ турбиналары бар ЖЭС-ның бастапқы құнының төмендігі және сонымен бірге салыстырмалы түрде төмен тиімділік және қолданылатын отынның жоғары құны және маневрлік қарапайым циклді газ турбиналарын жеке пайдаланудың негізгі аймағын анықтайды: оларды энергетикалық жүйелерде пик ретінде пайдалану керек немесе күніне бірнеше сағат жұмыс істейтін резервтік қуат көздері ретінде.

Сонымен қатар, газ турбиналық пайдаланылған газдардың жылуы жылу қондырғыларында немесе аралас (бу-газ) циклінде пайдаланылған кезде жағдай күрт өзгереді. Бұл жұмыс істеп тұрған бу турбиналы ЖЭО-ларда бу-газ турбиналық қондырғыларды электр және жылу өндіруге орнатуға болатынын көрсетеді.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Қарапайым термодинамикалық циклдің газтурбиналық қондырғысының негізгі элементтерін атаңыз.
2. ГТҚ-ның білігі (валы) қандай элементтерді біріктіреді?
3. ГТҚ-ның ауа компрессоры қалай жұмыс істейді және жану камераларына берілетін ауаның шығысы қалай өзгереді?
4. Компрессордың ағын жолында ауаның қалай сығылатынын түсіндіріңіз.
5. Газ турбиналық қондырғыда қолданылатын жану камераларының түрлерін атаңыз. Олар бір-бірінен қалай ерекшеленеді?
6. Компрессор не үшін помпажға қарсы клапандармен жабдықталған?
7. Газтурбинаның қалақтары қандай материалдардан жасалған?
8. Газ турбиасы неліктен салқындату жүйесімен жабдықталған?

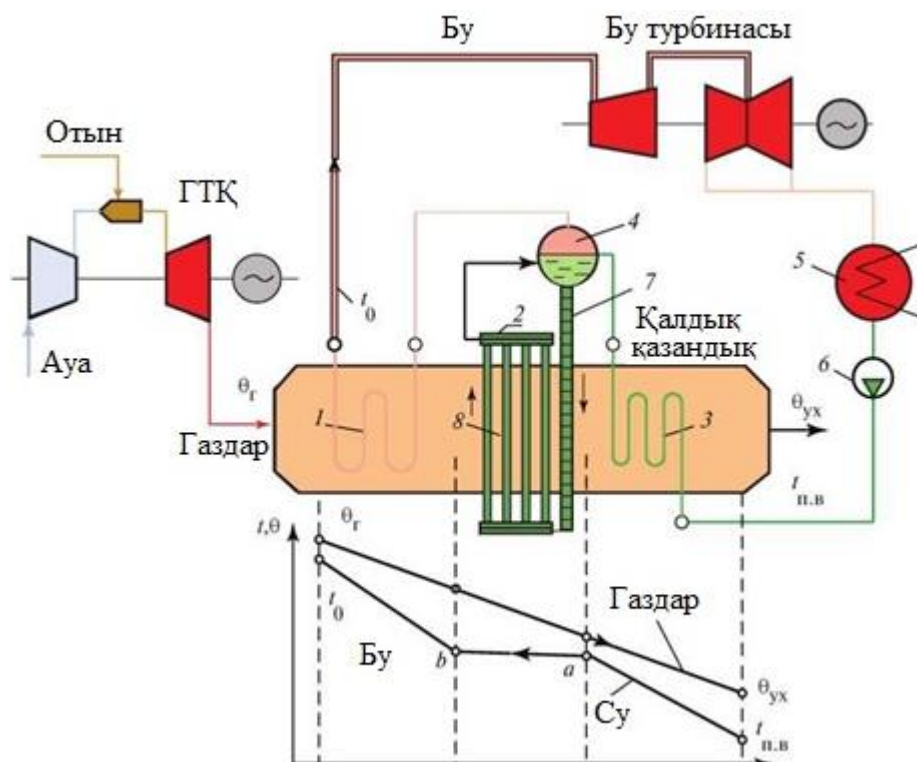
## **10 Дәріс. Бу-газ құрама циклді электр станциялары**

### **10.1 Бу-газ энергетикалық технологияларының түсінігі және қарапайым БГҚ құрылғысы**

Бу-газ біріктірілген циклді электр станциялары - бұл газ турбиасының пайдаланылған газдарының жылуы бу турбиасының циклінде электр энергиясын өндіру үшін тікелей немесе жанама түрде пайдаланылатын электр станциялары.

10.1-суретте қалдықты кәдеге жарату түрі деп аталатын ең қарапайым аралас циклді қондырғының принципалды сұлбасын көрсетілген. ГТҚ-ның пайдаланылған газдарының жылуын (қалдық жылу) пайдаға асыратын қалдық қазандығына (ҚҚ) - қарсы ағынды типтегі жылу алмастырғышқа түседі, онда ыстық газдардың жылуы есебінен бу турбиасына жіберілетін жоғары параметрлердің бу пайда болады.

Қалдық жылу қазандығы (ҚК) - бұл тік бұрышты секциялы шахта, онда қыздыру беттері орналасқан, қанатты түтіктерден құралған, оның ішінде бу турбинасы қондырғысының жұмыс сұйықтығы (су немесе бу) қозғалады.



1 - бу қыздырғыш; 2 - буландырғыш; 3 - экономайзер; 4 - барабан; 5 - бу турбинаның конденсаторы; 6 - қоректік сорғы; 7 - буландырғыштың түсіру құбыры; 8 - буландырғыштың көтергіш құбырлар

10.1 сурет - Ең қарапайым қалдық жылуды пайдалану түріндегі БГҚ-ның сұлбасы

10.1-суреттегі қалдық жылу қазандығының сұлбасында газдар мен жұмыс сұйықтығының бір-біріне қарай жылжу кезіндегі температураларының өзгеруі көрсетілген. Экономайзерде қозғалатын қоректік судың температурасы қайнау температурасына дейін көтеріледі ( $a$  нүктесі). Бұл температурада (қайнау шегінде) су буландырғышқа түседі. Ол суды буландырады. Сонымен бірге оның температурасы өзгермейді ( $a - b$  процесі). Ал  $b$  нүктесінде жұмыс сұйықтығы құрғақ каныққан бу түрінде болады. Әрі қарай, буды аса қыздырғышта ол  $t_0$  мәнге дейін қызып кетеді.

Қатты бу қыздырғыштың шығысында пайда болған бу бу турбинасына жіберіледі, онда кеңейіп, ол жұмыс істейді. Турбинадан шығатын бу конденсаторға түсіп, шықтанады (конденсацияланады) және қоректену сорғысының  $6$  көмегімен қоректік судың қысымын жоғарылатады, қайтадан қалдық жылу қазандығына (ҚК) жіберіледі.

Осылайша, бу-газ қондырғының (БГҚ) бу турбиналық қондырғысының (БТҚ) кәдімгі ЖЭС-тың бу турбиналық қондырғысының (БТҚ) арасындағы айырмашылығы тек қалдық жылу қазандығында отынның жанбауында және турбинада пайдаланылған газдарынан жылуды алуынады.

1. Газ турбинының пайдаланылған газының температурасы  $\theta_T$  екі мағыналы газ турбины алдындағы газ температурасымен және газ турбины салқындату жүйесінің жетілгендігімен анықталады.

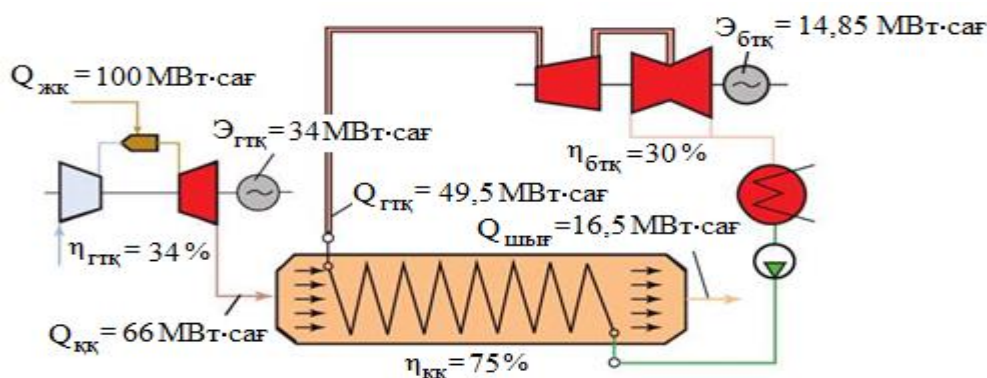
Қазіргі заманғы газ турбиналарының көпшілігінде пайдаланылған газдың температурасы 530-580 °С құрайды (бірақ температурасы 640 °С-қа дейінгі кейбір газ турбиналы қондырғылары бар).

Табиғи газда жұмыс істегенде экономайзер құбыр жүйесінің сенімді жұмыс істеу шарттарына сәйкес, қалдық жылу қазандығына кіретін жердегі қоректендіру суының температурасы  $t_{кc} > 60$  °С төмен болмауы керек. Қалдық жылу қазандығынан шығатын газдардың температурасы  $\theta_{шығ}$  әрқашан  $t_{кc}$  температурасынан жоғары болады. Іс жүзінде ол  $\theta_{шығ} = 100$  °С деңгейінде, демек, қалдық жылу қазандығының тиімділігі  $\eta_{кк} = 0,843$  болады.

Табиғи газда жұмыс істегенде, жылу электр станциясының кәдімгі энергетикалық қазандығы 94% тиімділікке ие. Осылайша, аралас циклді қондырғыдағы қалдық жылу қазандығы ЖЭС қазандығынан айтарлықтай төмен тиімділікке ие.

2. Қарастырылып отырған БГҚ бу турбиналық қондырғысының ПӘК кәдімгі ЖЭС БТҚ-ың ПӘК-нен айтарлықтай төмен. Бұл БГҚ БТҚ-да регенерациялық жүйенің жоқтығына байланысты. Негізінде, ол болмауы керек, өйткені  $t_{кc}$  температурасының жоғарылауы қалдық жылу қазандығының тиімділігінің одан да көп төмендеуіне әкеледі.

Осыған қарамастан, БГҚ-ның тиімділігі өте жоғары болып шығуы мүмкін. 10.2-суретте қарапайым БГҚ-ның схемасы мен сипаттамалары көрсетілген.



10.2 сурет - Ең қарапайым қалдық жылуды пайдаға асыру типіндегі БГҚ-да жылуды жұмысқа айналдыру

БГҚ құрылысы жоғары тиімділікке ие ғана емес, сонымен қатар жоғары тиімділіктегі бу турбиналық циклін жүзеге асыру үшін жағдайларды

қамтамасыз ететін жоғары температуралы газ турбиналы қондырғыларын жасағаннан кейін ғана экономикалық тұрғыдан ақталды.

ГТҚ-да газ турбинасының қуаты бу турбинасына қарағанда шамамен екі есе жоғары. Сондықтан түрі ПГУ-450Т бу-газ қондырғысы (БГҚ) екі газ турбинасы мен бір бу турбинасынан тұрады, олардың әрқайсысының қуаты шамамен 150 МВт болатын турбиналар.

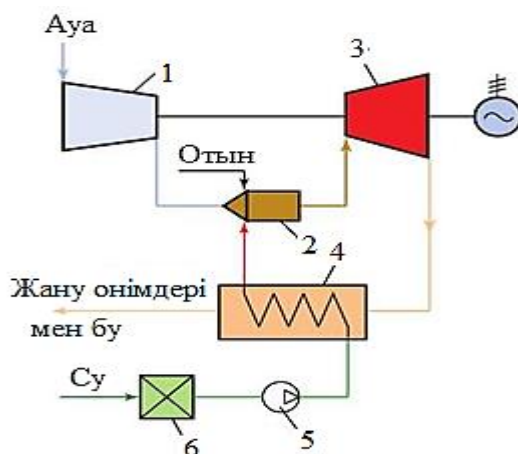
## 10.2 БГҚ жіктелуі, олардың түрлері, артықшылықтары мен кемшіліктері

Мақсаты бойынша БГҚ конденсациялық және жылыту қондырғыларына бөлінеді. Олардың біріншісі тек электр энергиясын өндіреді, екіншісі бу турбинасына қосылған жылытқыштардағы желілік суды жылытуға да қызмет етеді.

БГҚ қолданылатын жұмыс денелерінің саны бойынша олар екі және бір жұмыс денелі болып бөлінеді. Екі жұмыс денелі қондырғыларда газтурбиналық циклдің (ауа мен отынның жану өнімдері) және бу турбиналық қондырғысының (су және бу) жұмыс сұйықтықтары бөлінеді. Бір жұмыс денелі қондырғыларда турбинаның жұмыс сұйықтығы жану өнімдері мен су буының қоспасы болып табылады.

Бір жұмыс денелі БГҚ-ың схемасы 10.3-суретте көрсетілген. БГҚ-ның шығатын газдары қалдық жылу қазандығына жіберіледі, оған су қоректік сорғы 5 арқылы беріледі. Қалдық жылу қазандығынан алынған бу жану камерасына 2 түседі, жану өнімдерімен араласады, нәтижесінде алынған біртекті қоспа газ (дұрысы, газ-бу) турбинасына 3 жіберіледі.

Бір жұмыс денелі БГҚ-ың басты артықшылығы бу турбинасы мен оның қосалқы жабдығының болмауына байланысты олардың жинақылығы болып табылады.

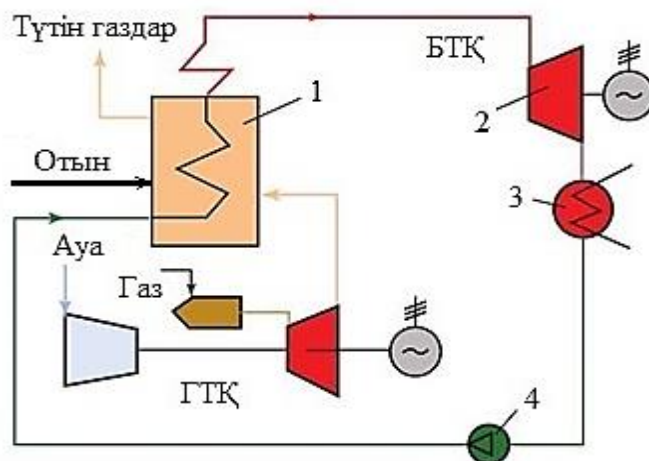


1 - компрессор; 2 - жану камерасы; 3 - газ-бу турбинасы; 4 - қалдық жылу қазандығы; 5 - қоректік сорғы; 6 - су тазартып дайындау қондырғысы

10.3 сурет - Бір жұмыс денелі БГҚ-ың сұлбасы

Бу-газ қоспасынан буды конденсациялауды ұйымдастырудың техникалық қиындығы және соған байланысты қуатты су тазарту қондырғысының тұрақты жұмыс істеу қажеттілігі бір жұмыс денелі БГҚ-ың негізгі кемшіліктері болып табылады.

**ГТҚ-да пайдаланылған газдарын энергетикалық қазандығына тастаумен БТҚ.** Көбінесе мұндай БГҚ-ың қысқаша «тасталу» немесе төмен қысымды бу генераторы бар БГҚ деп аталады (10.4 сурет).

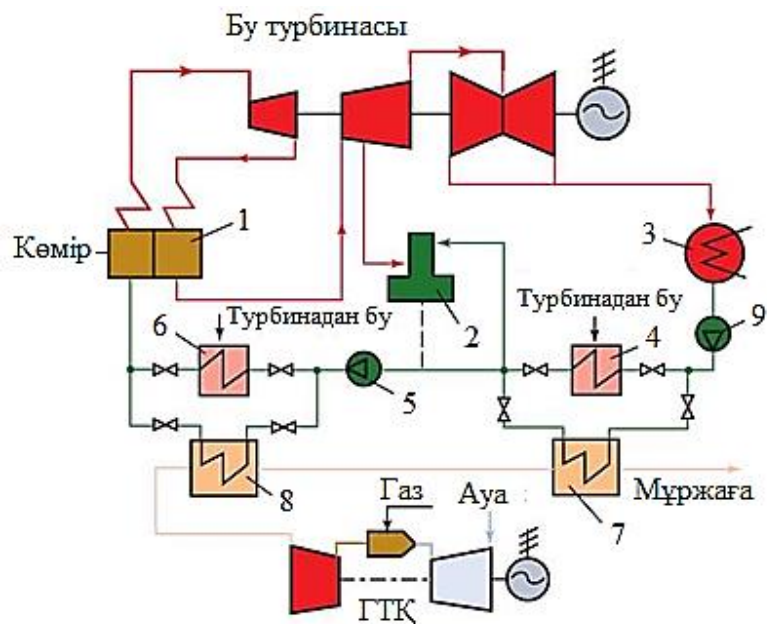


1 - энергетикалық (қуат) қазандығы; 2 - бу турбины; 3 - конденсатор; 4 - қоректендіру сорғысы

10.4 сурет - ГТҚ-да пайдаланылған газдарын энергетикалық қазандығына тастаумен БТҚ

БГҚ-ың «тасталу» сұлбасының негізгі артықшылығы бу турбиналық циклында қымбат емес энергетикалық қатты отынды пайдалану мүмкіндігі болып табылады. БГҚ-ың «тасталу» түрінде отын тек ГТҚ-ның жану камерасына ғана емес, сонымен қатар энергетикалық (қуат) қазандығына жіберіледі (10.4 сурет), ГТҚ газ немесе дизельдік отынмен жұмыс істесе, энергетикалық қазандығы кез келген отынмен жұмыс істейді. БГҚ-ың «тасталу» түрінде екі термодинамикалық цикл бар. ГТҚ-ның жану камерасына отынмен бірге түсетін жылу газ турбинынан соң қалдық жылу пайдаланатын бу-газ қондырғысындағыдай электр энергиясына айналады, яғни ПӘК 50%, ал қуат қазандығына берілетін жылу - кәдімгі бу турбиналық цикліндегідей, яғни тиімділігі 40%.

**Регенерацияның «ығысуымен» БГҚ.** Мұндай БГҚ идеясы - регенеративті жылытқыштар бу турбинынан ажыратылады, ал ГТҚ-да пайдаланылған газдарының жылуы қуат қазандығының қоректік суын қыздыру үшін пайдаланылады (10.5 сурет). Үнемделген бу алымдарының буы бу турбинында қосымша қуат алу үшін пайдаланылады.

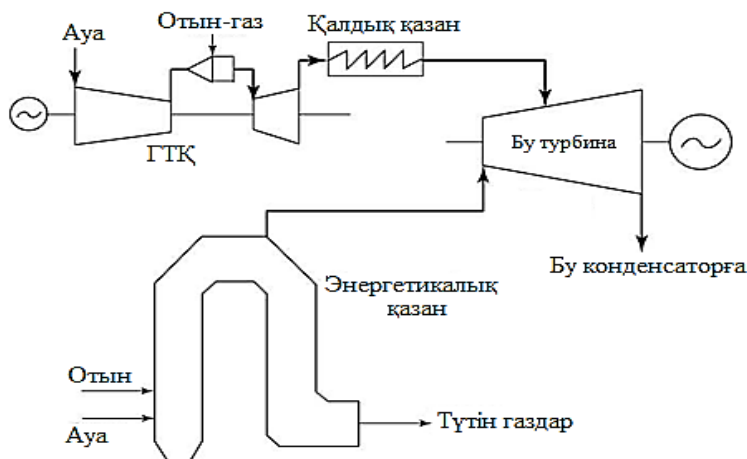


1 - қуат қазандығы; 2 - деаэратор; 3 - конденсатор; 4 - ТҚЖ тобы; 5 - қоректік сорғы; 6 - ЖҚЖ тобы; 7 - төмен қысымды конденсатының газды жылытқышы; 8 - қоректің судың газды жылытқышы; 9 - конденсат сорғышы

10.5 сурет - Регенерацияның ығысуымен БГҚ-ның сұлбасы

Регенерациялық ығысуы бар БГҚ отынды ең аз үнемдеуді (шамамен 4%) қамтамасыз етеді, дегенмен ол ең аз өзгертулермен бу турбиналы қуат блогын құруға мүмкіндік береді.

**Параллельді сұлбасы бар БГҚ.** Параллельді сұлбасы бар БГҚ-да (10.6 сурет) бу турбинасына арналған бу ГТҚ-ға қосылған қалдық жылу қазандығы мен кәдімгі қуат қазандығы арқылы параллельді түрде өндіріледі.

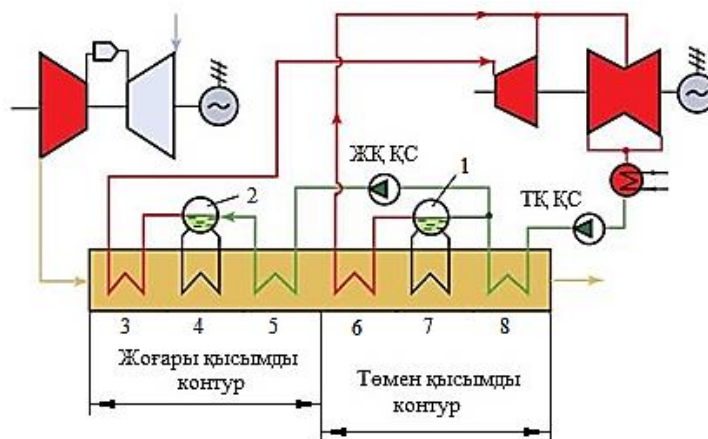


10.6 сурет - Параллельді сұлбасымен БГҚ

### 10.3 Қалдық пайдалану түріндегі бу-газ қондырғылары және олардың негізгі жабдықтарының ерекшеліктері

Қалдық пайдалану түріндегі бу-газ қондырғылары (БГҚ) қарапайымдылығы мен жоғары тиімділігіне байланысты көбірек қолданылады.

Екі тізбекті қалдық жылу қазандығының схемасы екі контурлы БГҚ бөлігі ретінде 10.7-суретте көрсетілген.



1 - төмен қысымды (ТҚ) контурының барабаны; 2 - жоғары қысымды (ЖҚ) контурының барабаны; 3 - ЖҚ контурының бу қыздырғышы; 4 - ЖҚ контурының буландырғышы; 5 - ЖҚ контурының су экономайзері; 6 - төмен қысымды (ТҚ) контурының бу қыздырғышы; 7- ТҚ контурының буландырғышы; 8 - ТҚ контур конденсатының газ қыздырғышы (КГҚ)

10.7 сурет - Екі контурлы, қалдық жылу пайдаланатын БГҚ-ның сұлбасы

#### Бақылау сұрақтары

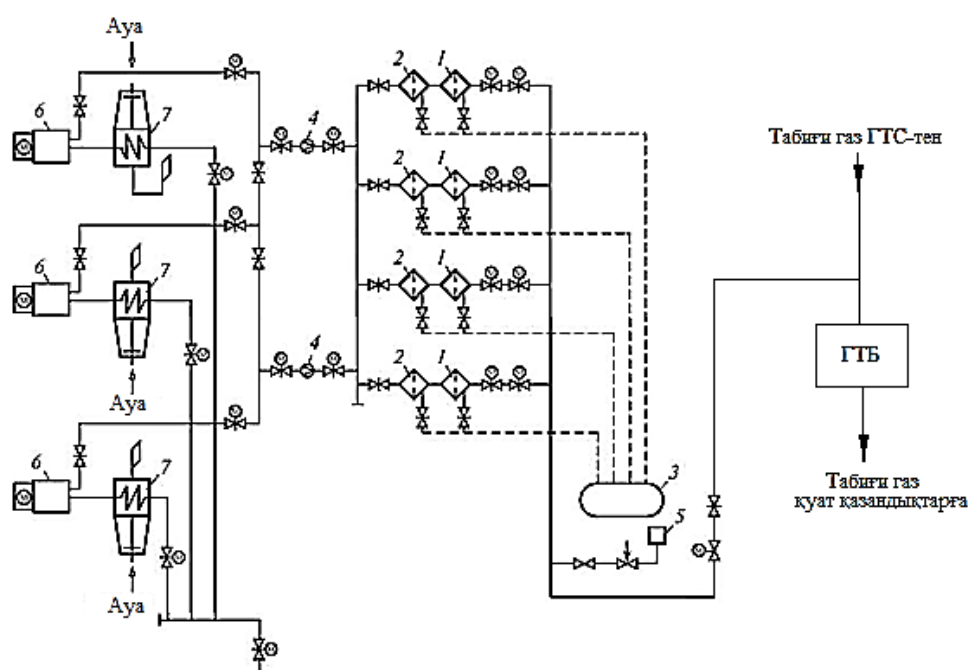
1. Бу-газ қондырғылар дегеніміз не. ГТҚ-ЖЭО бу-газ қондырғы ма?
2. Ең қарапайым қалдық жылу қазандығы қандай элементтерден тұрады?
3. Қалдық жылу қазандығы мен қуат қазандықтың айырмашылығы неде?
4. Неліктен қалдық жылу пайдалану бу-газ қондырғысының БТҚ тиімділігі қуат қазандығы бар дәстүрлі БТҚ тиімділігінен төмен?
5. Қалдық жылу пайдалану БГҚ-ның отынды үнемдеу механизмін түсіндіріңіз.
6. Қалдық жылу пайдалану БГҚ бар ЖЭС негізгі элементтерін атаңыз.
7. Бір контурлы БГҚ артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
8. Газ турбиналы қондырғыда пайдаланылған газдарды энергетикалық қазандыққа тастаумен БГҚ-ның артықшылықтары мен кемшіліктері қандай.
9. Екі контурлы қалдық жылу қазандықтарының бір контурлыдан артықшылығы қандай?
10. Қалдық жылу пайдалану БГҚ-ның басқа түрдегі БГҚ-на қарағанда қандай артықшылықтарға ие?





Табиғи газ ЖЭС-ке 0-20 °С температурада түседі ал жану камерасына газды 10–130 °С температура аралығында беруге болады. ЖЭС-ке түсетін газдың қысымы екі факторға байланысты: оның орналасқан жері мен маусымға. Егер ЖЭС қала ішінде болса, онда газ әдетте магистральдық газ құбырынан емес, газ тарату станциясынан кейін беріледі, оның артындағы газ құбырындағы қысым 1,1-1,2 МПа деңгейінде болады.

Мысал ретінде 11.2-суретте қос блокты БГҚ-ың газбен жабдықтау схемасы көрсетілген. ГТҚ-ғы электр станциясында орналасқан газ тарату бекетінен (ГТБ) табиғи газбен қамтамасыз етіледі, оның артындағы қысым 1,2 МПа деңгейінде сақталады. Жану камерасының алдында 2,7 МПа қысым болуы керек, сондықтан әрқашан газдың қысымын жоғарлату қажет. Ол үшін үш арнайы компрессор орнатылған (біреуі резервте).



1 - сепараторлар; 2 - сүзгілер; 3 - газ конденсатынан тазарту цистернасы; 4 - табиғи газдың турбиналық есептегіші; 5 - газдың жану жылулығын өлшегіш құрал; 6 - электр қозғалтқыштары бар қысым күшейткіш компрессорлар; 7 - сығылған газды ауамен салқындату блогы; ГТБ - газ тарату бекет

11.2 сурет - Түрі ПГУ-800 екі ГТҚ-сын газбен жабдықтау сұлбасы

**Сұйық отынды дайындау.** Дизельдік отын бұл БГҚ-ЖЭО-де апатты отын ретінде пайдалану шарттарын анықтайтын бірқатар қасиеттерімен сипатталатын жанғыш сұйық отын.

Дизельдік отын атмосфералық қысымда салыстырмалы түрде төмен қайнау температурасына ие және толығымен буланады, сондықтан оны жеңіл сұйық отын деп атайды.

Пайдалану кезінде сұйық отынның ең маңызды сипаттамасы тұтқырлық болып табылады, ол оның сұйықтығының дәрежесін, жану камерасындағы механикалық саптамалармен бүркудің дисперсиясын және тасымалдап айдау мүмкіндігін анықтайды. Тұтқырлық дизельдік отынның маркасына және температураға байланысты.

Жану камерасына түсетін дизель отынында су болмауы керек, өйткені ол сүзу процесін қиындатады, отын жолының коррозиясын тудырады және онда еритін натрий мен калий тұздарының газ турбинаның ағынды жолына түсуіне ықпал етеді, бұл газ турбиналық қалақ аппаратының коррозиясына әкеледі.

Авариялық жағдайларда ГТҚ жану камераларын сұйық отынмен қамтамасыз ету үшін ЖЭС-те қабылдау-түсіру эстакадасында отыны бар теміржол цистерналары әкелінеді, 5 тәулік бойы жұмыс істеуге жеткілікті сақтау резервуарына отын құйылады, судан бөлуге арналған отын тұндыру және қашықтағы жер асты дренаждық резервуарлары бар, басқару пульті бар жеке сорғылар орналасқан ғимараты бар дизельдік отын шаруашылығы ұйымдастырылады.

**Циклдік ауаны дайындау.** Атмосфералық ауа компрессордың жұмыс сұйықтығы және газ турбинасына түсетін жану өнімдерінің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Бу күштік электр станциясының циклдік суды дайындауға және оны үнемі тазартуға арналған күрделі арнайы жүйесі бар сияқты, ГТҚ-сы бар электр станциясында компрессор мен жану камерасы үшін үнемі және көп мөлшерде жоғары сапалы ауа дайындайтын қондырғы болады. Бұл құрылғы төрт негізгі функцияны орындайды:

- компрессорға бағытталған атмосфералық ауаны тазарту (сүзу), бұл компрессордың және газ турбинаның ағыс бөлігінің құм және минералды шаң бөлшектерімен мерзімінен бұрын абразивті тозуын болдырмайды;
- компрессорды ауа райының қолайсыз әсерінен қорғау;
- компрессорға бөгде заттардың түсуінен қорғау;
- шуды басу.

Бұл төрт функцияны күрделі ауа тазарту қондырғысы (АТҚ) орындайды. Салқын климатта қардың көп мөлшері немесе мұздатылған жаңбыр тамшылары сүзгі элементтерінің, дыбысты өшіргіштердің және тіпті компрессордың кіріс бағыттағыштарының мұздануына әкелуі мүмкін. Мұздану компрессор арқылы өтетін ауа ағынын, сондай-ақ бүкіл газ турбинасының қуаты мен тиімділігін күрт төмендетеді. Сонымен қатар, компрессордың ағынының жолына мұз бөліктерінің түсуі оның физикалық бұзылуына әкелуі мүмкін.

Дәстүрлі ауаны сүзу статикалық (бір реттік) деп аталатын сүзгілердің көмегімен жүзеге асырылады, олар гидравликалық кедергісі шаңмен жабылуына байланысты рұқсат етілмейтін мәнге көтерілгеннен кейін ауыстырылады.

Жану камераларының жалын түтіктерін және газ турбинасы қалақтарының жиектерін салқындату үшін, әдетте, компрессордың әртүрлі сатыларынан алынған ауа қолданылады.

## **Бақылау сұрақтары**

1. ГТҚ-ың құрамына кіретін және оның жұмысын қамтамасыз ететін жүйелерді атаңыз. Әрбір жүйе қандай функцияларды орындайды?
2. Бу турбиналық қондырғының құрамына кіретін және оның жұмысын қамтамасыз ететін жүйелерді атаңыз. Осы жүйелердің әрқайсысының қызметі қандай?
3. БГҚ-ЖЭО-да ыстық желілік суды алудың ерекшеліктері қандай?
4. Бу-газ электр станциясында отынның қандай түрлері қолданылады?
5. БГҚ-ың жану камераларына берілетін табиғи газдың параметрлеріне қандай талаптар қойылады.
6. Аралас циклді электр станциясындағы блокты газ өңдеу станциясының функцияларын атаңыз.
7. Бу-газ электр станциясында ГТҚ-ларын резервтік сұйық отынмен қамтамасыз ету қалай ұйымдастырылады?
8. АБҚ-ның негізгі функцияларын атаңыз.

## **12 Дәріс. Қазақстандағы жылу энергетикасының техникалық деңгейі, жағдайы және болашағы**

Энергетиканың техникалық деңгейі оны өндіруші қондырғылардың (жылу электр станциялары, жылу электр орталықтары, атом электр станциялары, су электр станциялары және басқа электр станциялары) және электр желілерінің тұтынушыларды кез келген уақытта қажетті мөлшерде электр энергиясымен қамтамасыз ету мүмкіндігімен сипатталады және қажетті сапалы жылу энергиясы (электр энергиясы үшін нормаланған жиілік пен кернеу және желілік су үшін нормаланған температура мен қысым) жоғары тиімділікпен, өндірістік сенімділікпен және максималды қауіпсіздікпен, адамдарға және қоршаған ортаға ең аз зиянды әсерімен қамтамасыз ету.

Тұтынушыға жалпы электр және жылу энергиясы емес, толығымен белгілі бір сапада қажет. Энергетиканың жоғары техникалық деңгейін тек энергия өндіруші қуаттардың үйлесімді құрылымымен ғана қамтамасыз етуге болады: энергетикалық жүйеге арзан электр энергиясын өндіретін, бірақ жүктеме диапазоны мен өзгеру жылдамдығына елеулі шектеулер қойылған атом электр станциялары да кіруі керек, көлемі жылу қажеттілігіне байланысты жылу және электр энергиясын беретін ЖЭО-ларда кіруі керек, сонымен қатар қатты отынмен жұмыс істейтін қуатты бу турбиналы энергоблоктар және қысқа мерзімді ең жоғары жүктемелерді жабатын жылжымалы автономды газ турбиналары да болуы керек.

ЖЭС және АЭС техникалық деңгейінің негізгі көрсеткіші тиімділік болып табылады. Себебі, ЖЭО-да электр және жылу энергиясын өндірудегі эксплуатациялық шығындарда отынның өзіндік құны шешуші рөл атқарады.

## 12.1 Жылу-энергетикалық қуаттардың номенклатурасы және электр энергиясын өндіру құрылымы

Қазақстанда электр энергиясын өндіруді әртүрлі меншік нысанындағы 179 электр станциясы жүзеге асырады. 2021 жылдың 1 қаңтарындағы жағдай бойынша Қазақстандағы электр станцияларының жалпы белгіленген қуаты 23621,6 МВт, қолда бар қуаты 20078,6 МВт.

Электр станциялары республикалық маңызы бар электр станциялары, өндірістік электр станциялары және аймақтық электр станциялары болып бөлінеді.

Республикалық маңызы бар электр станцияларына Қазақстан Республикасының электр энергиясының көтерме сауда нарығында электр энергиясын өндіруді және тұтынушыларға өткізуді қамтамасыз ететін ірі жылу электр станциялары жатады:

Б.Г. Нұржанова атындағы ЖШС «Екібастұз МАЭС-1»;  
«Екібастұз МАЭС-2 станциясы» АҚ;  
«ЕЭК» АҚ, ERG «Еуразиялық Топ» электр станциялары;  
«Топар бас тарату электр станциясы» ЖШС;  
Т.И. Батуров атындағы «Жамбыл МАЭС» АҚ.

Сондай-ақ Қазақстан Республикасының біртұтас энергетикалық жүйесінің (БЭЖ) жүктеме кестесін реттеу үшін қосымша пайдаланылатын жоғары қуатты гидроэлектрстанциялар:

Бұқтырма ГЭК «Казцинк» ЖШС, «АЭС Өскемен ГЭС» ЖШС, «АЭС Шульбинск ГЭС» ЖШС. М

ұнда ГЭС - гидраликалық электр станция, яғни бұл су электр станциясы.

Өнеркәсіптік электр станцияларына ірі өнеркәсіптік кәсіпорындарды және жақын маңдағы елді мекендерді электр және жылу энергиясымен қамтамасыз етуге қызмет ететін электр және жылу энергиясын біріктіріп өндіретін ЖЭО жатады:

ЖЭО-3 «Қарағанды Энергоцентр» ЖШС;  
ЖЭО ПВС, ЖЭО-2 «Арселор Миттал Теміртау» АҚ;  
ЖЭО АҚ «ССГПО» ERG, «Еуразиялық Топ»;  
Балқаш ЖЭО, Жезқазған ЖЭО «Kazakhmys energy» ЖШС;  
ЖЭО-1 «Қазақстан алюминий» АҚ ERG, «Еуразиялық топ» және т.б.

Өңірлік маңызы бар электр станциялары бұл өңірлік электр желілері компаниялары мен энергия тасымалдаушы ұйымдардың желілері арқылы электр энергиясын сататын, сондай-ақ жақын орналасқан қалаларды жылумен қамтамасыз ететін аумақтармен біріктірілген ЖЭО.

12.1-кестеде Қазақстандағы ең ірі электр станциялары және олардың орнатылған қуаттары көрсетілген.

12.1 кесте - Қазақстандағы ең ірі электр станциялары

Электр станциялар	Орнатылғын қуат, МВт
1 Екібастұз МАЭС-1 (ЖШС «AES Екібастұз»)	4000
2 Ақсу МАЭС (АҚ «ЕЭК»)	2110
3 Батуров атындағы Жамбыл МАЭС	1230
4 Екібастұз МАЭС-2	1000
5 ЖШС «МАЭК-Казатомпром» ЖЭО-2	630
6 ЖШС «МАЭК-Казатомпром» ЖЭО-3	625
7 Қарағанды МАЭС-2 (қазақмыс корпорациясы)	608
8 Алматы ЖЭО-2 (АҚ «АПК»)	510
9 Павлодар ЖЭО-3 (АҚ «Павлодарэнерго»)	440
10 Петропавл ЖЭО-2 (ЖШС «АксессЭнерго»)	380
11 Павлодар ЖЭО-1 (АҚ «АлюминийКазахстан»)	350
12 Шульба ГЭС	720
13 Бухтарма ГЭС (АҚ «Казцинк»)	675
14 Қапшағай ГЭС (АҚ «АПК»)	364
15 Усть-Каменогорск ГЭС	331

Қазақстанда электр станцияларда өндірілген электр энергия электр желілері арқылы тұтынушыларға таратылады.

Қазақстан Республикасының электр желілері – электр энергиясын беруге және (немесе) таратуға арналған 0,4-1150 кВ кернеумен оларды қосатын қосалқы станциялардың, тарату құрылғыларының және электр беру желілерінің жиынтығы.

Қазақстан Республикасының біртұтас энергетикалық жүйесінде (БЭС) жүйе құрайтын магистральдық желінің рөлін республика аймақтары мен көршілес мемлекеттердің (Ресей Федерациясы, Қырғыз Республикасы және Өзбекстан Республикасы) энергетикалық жүйелері арасындағы электр байланысын қамтамасыз ететін ұлттық электр желісі (ҰЭЖ) атқарады, сондай-ақ электр станцияларының электр энергиясын беру және оны көтерме тұтынушыларға беру. Электр станцияларында өндірілген электр энергиясын тұтынушыларға жеткізу үшін ҰЭЖ-ің құрамына кіретін қосалқы станциялар, тарату құрылғылары, облысаралық және (немесе) мемлекетаралық кернеуі 220 кВ және одан жоғары электр беру желілері «KEGOC» АҚ балансында тұр.

Өңірлік деңгейдегі электр желілері өңірлер ішіндегі электр байланысын, сондай-ақ бөлшекті тұтынушыларға электр энергиясын беруді қамтамасыз етеді. Облыстық деңгейдегі электр желілері өңірлік электр желілері компанияларының (регионалдық электр желілері компаниялары РЭК) теңгерімінде және пайдалануында.

## 12.2 Қазақстандық жылу энергетикасының техникалық артта қалуының себептері

Қазақстанның жылу энергетикасы төмен тиімділік коэффициентімен (ПӘК) жұмыс істейді, желілерде жылу энергиясының үштен бір бөлігін жоғалтады.

Жылу энергетикасының негізгі техникалық мәселелері мыналар болып табылады: негізгі жабдықтың тозуының жоғары дәрежесі, орташа алғанда, 59%, жылу тиімділігі (ПӘК) төмен, отынның химиялық энергиясының тек 35-40%. ЖЭО-дан электр және жылу энергиясы желілеріне жеткізіледі, тиімділік өте аз, жылу желілеріндегі жылу жоғалуы 30%.

Қалыптасқан жағдайдың нәтижесінде елде энергетика саласын дамытудың бірнеше жолы болуы мүмкін.

Бірінші жол - 1991 жылға дейін зерттелген және жасалғанның барлығын «жойылуға дейін» пайдалану, соңғы 15 жыл бойы жүріп келе жатқан жол.

Энергетика саласының барлық салаларындағы ғылыми-техникалық артта қалу, инвестициялардың өткір тапшылығы, негізгі өндірістік қорлардың жоғары тозуы, сапасының нашарлауы және шикізат базасының дамуының артта қалуы және т.б. нәтиже: Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігіне нақты қауіп. Міне, біз қазір осылай өмір сүріп жатырмыз және бірте-бірте қараңғылыққа батып, баяу тоңып, тағы 5-8 жыл өмір сүре аламыз. Қарағанды облысы (Пришахтинск қаласында) 2004-2005 жылдардағы қыста энергетика саласының қазіргі жағдайының айқын мысалы болып табылады.

Екінші жол – ресурс өндіруші жол отын-энергетикалық ресурстарды өндіру көлемін ұлғайту арқылы оларды өндіру көлемін айтарлықтай арттыруға негізделген. Осылайша отандық экономика ХХІ ғасырдың басына дейін дамыды. Қазбалық бастапқы энергия тасымалдаушыларына мұқият қарау туралы аз адамдар ойлады. Бәрі қолымызда, бәрі көп, бәрі арзан болғанда үнемдеудің қажеті жоқ. Соның нәтижесінде бізде Қазақстандағы өнеркәсіп өндірісінің энергия тұтынуы Батыс Еуропадан 3-4 есе, АҚШ-тан 5 есе, Жапониядан 8 есе жоғары. Бірақ қазір жағдай өзгерді, ескі кен орындары сарқылып барады, ал жаңаларын игеру орасан зор инвестицияны қажет етеді.

Ал, көптеген сарапшылардың пікірінше, соншалықты көп ресурстар қалған жоқ: мұнай 40 жылға, табиғи газ 90-100 жылға, тек көмірдің көптігі - 300 жылға жетеді. Ресурс өндіруші даму жолы экономикалық тұрғыдан негізсіз және келешекте жол беруге болмайтыны анық. Сонымен қатар, бұл жол ғылыми-техникалық әлеуеттің одан әрі деградациясына және экологиялық қысымның айтарлықтай артуына әкеледі.

Ал үшінші жол – ресурстарды тұтыну құрылымын өзгерту және энергия үнемдейтін жабдықтар мен жаңа озық технологияларды белсенді енгізу арқылы бастапқы энергия көздерін өндірудің ағымдағы деңгейін сақтай отырып, экономикалық өсу мүмкіндігін көздейтін энергия үнемдеу жолы.

Бұл қазба байлықтарды, қалпына келмейтін табиғи ресурстарды есепке алу және үнемдеу жолы, өркениетті әлем ұстанатын және өнеркәсіптік

өндірістің ерекше энергия сыйымдылығы бойынша Қазақстанға индустриялық дамыған елдерге жақындауға мүмкіндік беретін жол. Мемлекет қолында барға қосу арқылы ғана емес, ішкі шығындарды азайту арқылы да байып отырады.

Дүниежүзілік тәжірибе көрсеткендей, энергия үнемдеу шараларын енгізуге жұмсалатын шығындар көлемі бойынша үнемделгенге баламалы бастапқы энергия көздерін өндіруге және өндіруге кететін шығындардан 3-5 есе аз. Қазақстанда энергия үнемдейтін технологияларды кеңінен қолдану мәселесі әлдеқашан келген. Дегенмен, қайта құруға дейінгі кезеңде энергия ресурстарға тым төмен бағалар болғаннан, әрине, энергия үнемдеу саласындағы қызметті белсендіруге ықпал еткен жоқ.

### **12.3 Қазақстанның электр энергетикасының даму перспективалары**

Қазақстанда, сондай-ақ бүкіл әлемде тұрақты даму және энергия тиімділігін арттыру мәселелері үлкен маңызға ие. «Қазақстан Республикасының электр энергетикасын дамытудың 2030 жылға дейінгі жоспарына» сәйкес ел экономикасының одан әрі дамуын қамтамасыз ету мақсатында 2030 жылға қарай электр энергиясын өндіру көлемін 150,2 млрд кВт/сағ. Электр энергияның экспорттық мүмкіндігі 2030 жылға қарай ішкі қажеттіліктерді толық қамтамасыз ете отырып, шамамен 6 млрд кВт/сағ құрайды.

Қазақстанда энергия өндіру қуаттарды дамытудағы жетекші рөлін және стратегиялық көзқарасы бойынша энергетикалық (электр және жылу энергиясын өндіру) секторды дамытудың ұлттық операторы бола алатын заманауи әртараптандырылған энергетикалық холдинг болып табылатын «Самұрық-Энерго» АҚ-ға жүктелген.

«Самұрық-Энерго» АҚ жаңартылатын энергия көздерін пайдалану бойынша жобаларды жүзеге асыруда, оның ішінде су электр станциялары (Кербұлақ, Шардара, Бұлақ), Алматы және Ақмола облыстарында ірі жел электр станциялары және Алматы облысы Қапшағай қаласының маңында күн электр станциясы.

Сонымен қатар, АҚ «Самұрық-Энерго» Қазақстан Республикасындағы шағын өзендердің әлеуетін кешенді зерттеуді және оларды энергетикалық теңгерімге тарту үшін шағын ГЭС салу бойынша перспективалық жобалардың тізбесін анықтауды көздеп отыр.

Озық энергия үнемдейтін, экологиялық таза технологияларға, отын балансын оңтайландыруға және жобаларының ауқымды көлемі еліміздің біртұтас энергетикалық жүйесін дамытудың кешенді бағдарламасын, оның ішінде энергия өндіру көздерінің және Ұлттық электр желісінің дамуын көздейді.

Энергияны үнемдеу - жалпыұлттық міндет, Қазақстан экономикасын жаңғырту үдерісіне шаруашылық субъектілері ғана емес, бүкіл қоғам тартылып, Мемлекет басшысы энергияны үнемдеу мен энергия тиімділігін арттыруға ерекше көңіл бөлуде.



Ел экономикасын терең әртараптандыруға, инновациялық белсенділікті ынталандыруға, бәсекеге қабілетті өндірістерді енгізуге және дамытуға негізделген Қазақстанның экономикалық даму стратегиясы 2030 жылға қарай тиімділігі жоғары және технологиялық дамыған қазақстандық кәсіпорын құру арқылы электр энергетикасы саласының озық өсуін қамтамасыз етуді талап етеді, болашақта интеллектуалды энергия жүйесін қамтамасыз ететін:

- энергия мен ресурстарды үнемдеу, энергия тиімділігін арттыру арқылы бәсекеге қабілеттілікті арттыру;
- елдің геосаяси орналасуының, транзиттік және экспорттық әлеуетінің артықшылықтарын барынша пайдалану;
- жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК-ін) отын-энергетикалық балансаға кең көлемде тарту және елдің энергетикалық қауіпсіздігін.

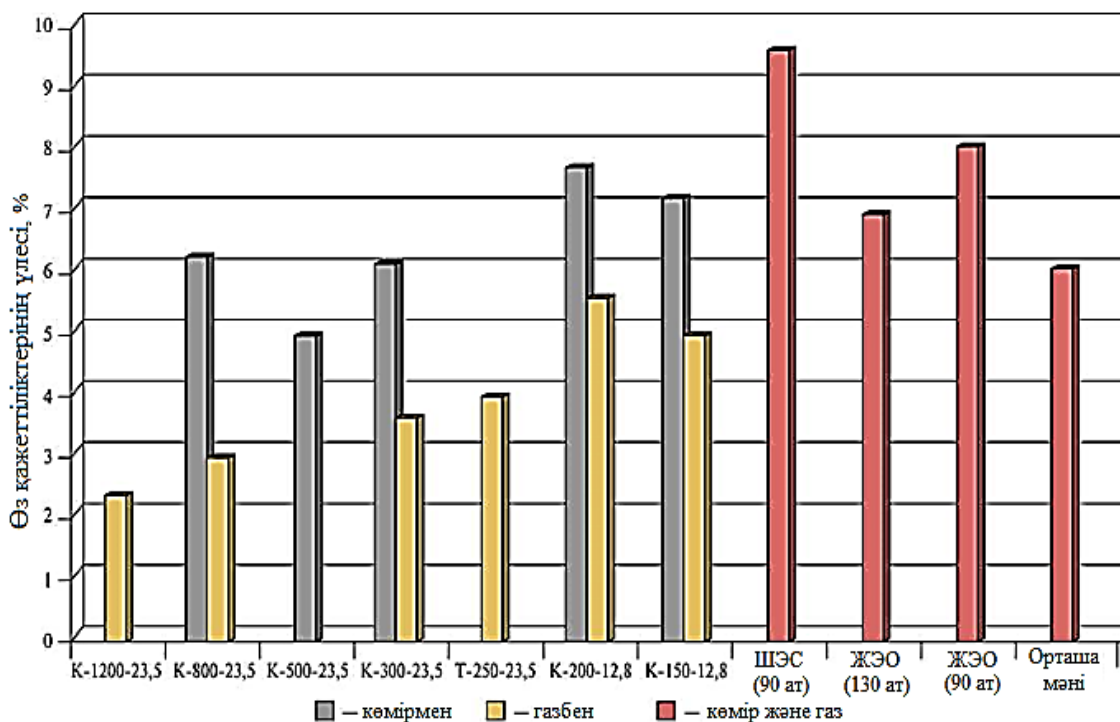
### **Бақылау сұрақтары**

1. Энергетика және жылу энергетикасының техникалық деңгейі дегеніміз?
2. Қазақстанның энергетикасының техникалық деңгейі қандай?
3. Қазақстандағы жылу энергетикасының техникалық деңгейі қандай?
4. Қазақстанның жылу-энергетикалық қуаттардың номенклатурасы?
5. Қазақстандағы электр энергиясын өндіру құрылымы қандай?
6. Қазақстанның жылу электр станцияларының жиіктелуі қандай?
7. Қазақстанның ЖЭС жабдықтарының жұмыс атқарған уақыты?
8. Қазақстандық жылу энергетикасының техникалық артта қалуының себептері қандай?
9. Қазақстанның жылу энергетикасының болашағы?
10. Қазақстанның энергетикасын дамытуының қандай жолдары бар?

### **13 Дәріс. Энергетика саласында қолданылатын жаңа қондырғылар түрлері**

Қазақстан Республикасында электр энергиясын өндіру әдеттегі жылу электр станцияларын және қазбалы отынмен жұмыс істейтін ЖЭС пайдалануға негізделген. Соңғы жылдары Қазақстанда бу-газ қондырғыларының (БГҚ) көбірек енгізілуіне қарамастан, Қазақстанның жылу энергетикасында әдеттегі жылу электр станциялары басым және көп жылдар бойы басым болады. Бұл қатты отынмен жұмыс істейтін жылу электр станцияларына көбірек қатысты, қатты отынды БГҚ-ларда жағуы әлі алыс болашақтың мәселесі. Сондықтан дәстүрлі жылу электр станцияларын құру және пайдалану кезінде әлі пайдаланылмаған қорларды, сондай-ақ олардың даму тенденцияларын түсіну өте маңызды.

13.1-суретте бір бу магистральді (көлденең байланысты) БТҚ мен ЖЭС-тің өзіндік қажеттіліктерінің үлестері көрсетілген.



13.1 сурет - Әртүрлі БТҚ-лар мен ЖЭС-ің өзіндік қажеттіліктер үлесі

БТҚ-ның тиімділігін арттырудың негізгі әлеуетті әдістері:

- бу турбинасын аэродинамикалық жағынан жақсарту;
- термодинамикалық циклды, негізінен қазаннан келетін будың параметрлерін арттыру және турбинада жұмыс істеген бу қысымын төмендету арқылы жақсарту;
- жылу сұлбасын және оның жабдықтарын жетілдіру және оңтайландыру.

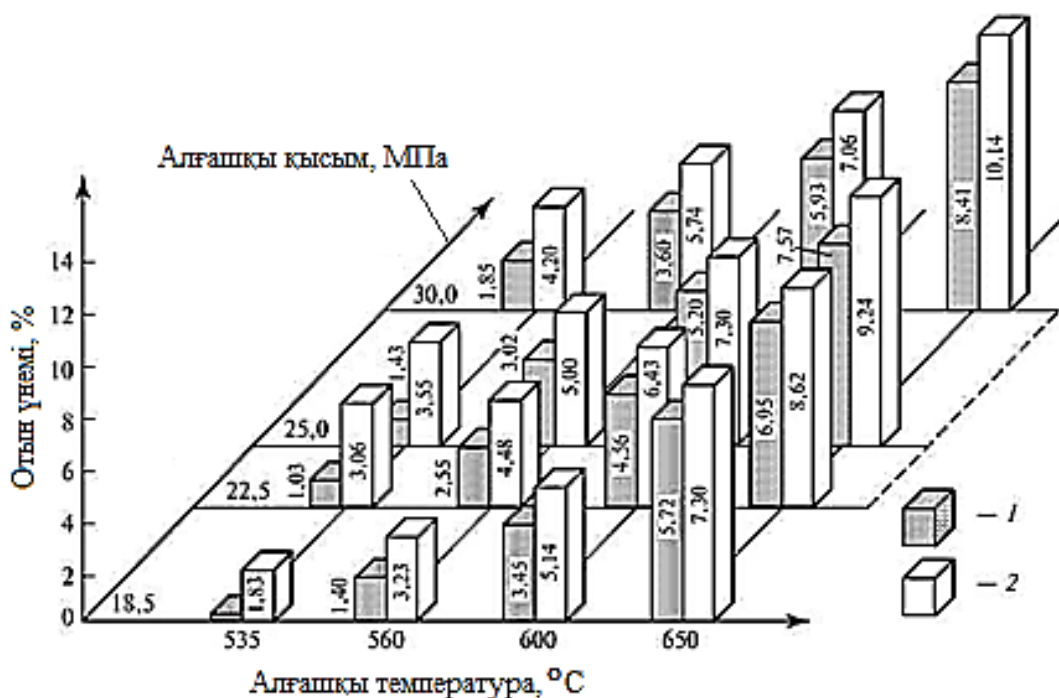
### 13.1 Будың супер аса критикалық параметрлеріне көшу

Энергетиканың даму тарихы - бу параметрлерінің жоғарылау тарихы. ХХ ғасырдың 60-жылдарының басынан, бұрынғы КСРО-да критикалықтан төмен параметрлерден (13 МПа, 540/540 °С) асакритикалық параметрлерге 24 МПа, 540/540 °С (аса критикалық қысымға - АКҚ) жылдам көшу басталды, ал 80-ші жылдардың аяғында КСРО электр энергетикасы АКҚ энергоблоктарын әзірлеу және пайдалану тәжірибесі басқа елдерге қарағанда көбірек болды. АКҚ қуат блоктарына көшу отынның айтарлықтай есептелген үнемделуіне әкеледі (13.2-сурет), бұл үш факторға байланысты: бастапқы температура мен қайта қыздыру температурасы, бастапқы қысым және қайта қыздыру саны.

13.2-суретте 18,5 МПа/535/535 °С параметрлерінен 30 МПа/650/650 °С параметрлеріне өту отынның 8,41% үнемдейтінін көрсетеді.

Екінші аралық буды қыздыруды енгізу параметрлердің арақатынасына байланысты отын үнемдеуге тағы 1-2% қосады. Қазіргі уақытта әлемдік жылу энергетикасы 30 МПа, 600 °С параметрлерін игеріп, супер аса критикалық бу параметрлері бар энергоблоктарға көшті. Шетелдік баспасөзде бастапқы температура 720 °С болатын энергоблоктағы жұмыс туралы хабарламалар бар.

Қазақстан энергетикасы Ресей энергетикасымен тығыз байланысты болғандықтан, Қазақстанда супер аса критикалық бу параметрлеріне көшуді Ресейдің энергетикасымен бірге қарастырамыз.



1 - бір аралық бу қыздыруы бар; 2 - екі аралық бу қыздыруы бар

13.2 сурет - Қуат блогының бастапқы параметрлерінің отын үнемдеуге әсері

Жаңа энергоблоктары үшін тиімділікті арттырудың толық қоры:

- турбинаны жетілдіруден – 6,1%;
- САКП-ге өтуден – 3,2%;
- жылу сұлбасын жетілдіруден - 1,5%, бұл түптеп келгенде 10,8% береді.

Осындай жақсартуды қазандық қондырғысына да жасауға болады. Оның тиімділігін шамамен 2,5% арттыруға болады. Сонымен, 24 МПа, 540/540 °C параметрлері үшін кәдімгі АКҚ энергоблоктарының тиімділігін арттыру резерві САКП-ге ауысқан кезде ПӘК-і 40% дан шамамен 13% құрайды, бұл тиімділігі  $45,2\% (1,13 \cdot 40 = 45,2)$  қуат блогын құруға мүмкіндік береді.

### Бақылау сұрақтары

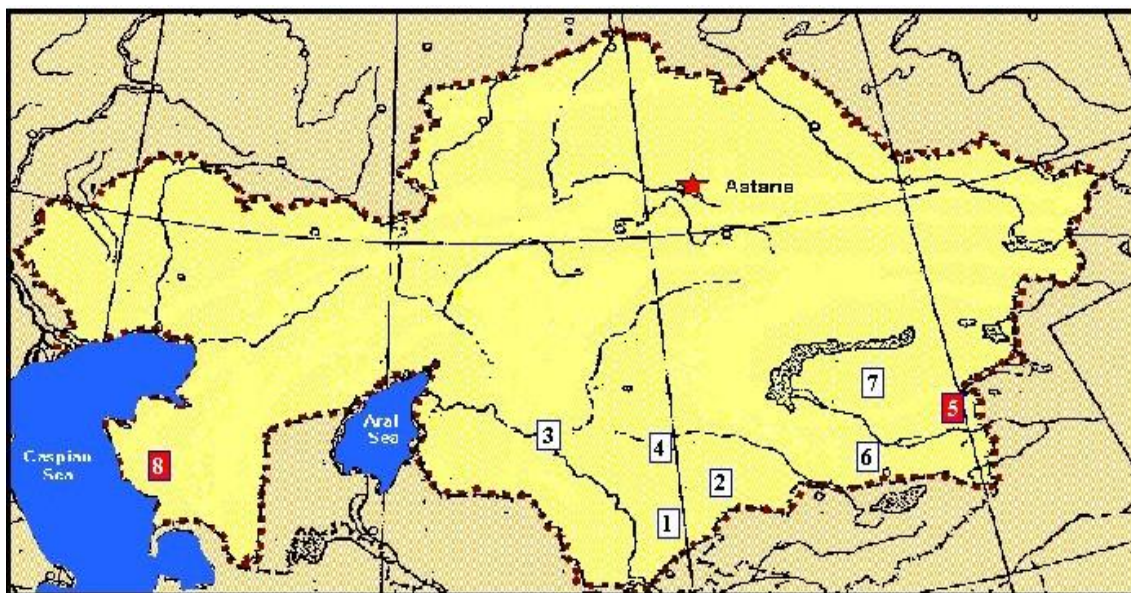
1. БТҚ-дың тиімділігін арттырудың негізгі әдістерін атаңыз.
2. Қандай бу параметрлері супер аса критикалық (САКП) деп аталады?
3. Бүгінгі күні бу энергетикалық қондырғыларында қандай бастапқы көрсеткіштерге (параметрлерге) қол жеткізілді?
4. Энергия үнемдеу дегеніміз не?

## 14 Дәріс. Геотермалдық және күн энергиясы

### 14.1 Геотермалдық электр станциясындағы жоғары потенциалды жылу көздері және геотермиялық жылу тасығыштың ерекшеліктері

Геотермалдық энергия ресурстарын шағын елді мекендерді де, ірі қалаларды да жылумен және электрмен жабдықтауға пайдалануға болады. Геотермалдық энергияны кешенді түрде энергиямен қамтамасыз ету үшін де, өнеркәсіпті, ауыл шаруашылығын, әсіресе тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығын дамыту және халық өмірін жақсарту үшін пайдалануға болады. Қазіргі кезде 30 °С-тан жоғары геотермиялық жылу тасығыштың қоры бар әлемнің барлық елдерінде геотермиялық жылу мен энергетика белсенді дамып келеді.

Қазақстанда жылдың кез келген мезгілінде температурасы 50-100 °С болатын термалды сулардың айтарлықтай қоры бар. Олар республика территориясының 70%-да орналасқан және Ертіс, Зайсан, Іле, Шу, Сырдария, Каспий өңірінде, Торғай және Оңтүстік Маңғышлақ өңірінде шоғырланған кең-байтақ артезиан алаптарын білдіреді, 14.1 сурет.



1-Сырдария, 2-Іле, 3-Шуй, 4-Торғай 5-Зайсан, 6-Ертіс, 7-Балқаш, 8-Каспий және Оңтүстік-Маңғышлақ өңірлері

14.1 сурет - Қазақстанның термалды суларының негізгі бар өңірлері

Маңғыстау облысында жылу мен электр энергиясының баламалы көздерін құра алатын жазда да, қыста да тұрақты температурасы 60-100°С жерасты термалды суларының айтарлықтай өнеркәсіптік қоры бар. Негізінде Маңғыстау облысының тұрғындарын экологиялық таза әрі арзан жылу энергиясымен қамтамасыз етуге болады.

Жоғары термалды сулар Қазақстанда практикалық қолданысын тапты. Мәселен, Оңтүстік Қазақстан облысының бірқатар шаруашылықтарында (Қапланбек геотермалдық кен орны) температурасы 80°C термалды сулар жылытуға, ыстық сумен жабдықтауға, жылыжай объектілерін жылытуға пайдаланылады. Алматы қаласының маңында температурасы 80-120°C термалды су қыста жылыжайларды жылытуға, жазда ауаны баптау үшін пайдаланылады.

Он кен орны бойынша жер асты суларының пайдалану қорын сонау 1976 жылы КСРО Министрлер Кеңесі жанындағы пайдалы қазбалар қоры жөніндегі мемлекеттік комиссия бекіткен.

Геотермалдық суларды пайдалануға келсек геозлектр станция (ГеоЭС) және геожылу станцияда (ГеоЖС) электр және жылу энергиясының көзі геотермиялық жылу тасығыш болып табылады, ол қысыммен жер бетіне 500-3000 м тереңдіктен түсетін бу (өте қыздырылған немесе ылғалды) немесе ыстық су. Жер қойнауы өзінің құрамы мен термодинамикалық параметрлері бойынша дәстүрлі жылу және атом электр станцияларында қолданылатын су буынан айтарлықтай ерекшеленеді. Ең алдымен, бұл геотермалдық резервуарының (су қоймасының) сипаттамаларымен анықталады.

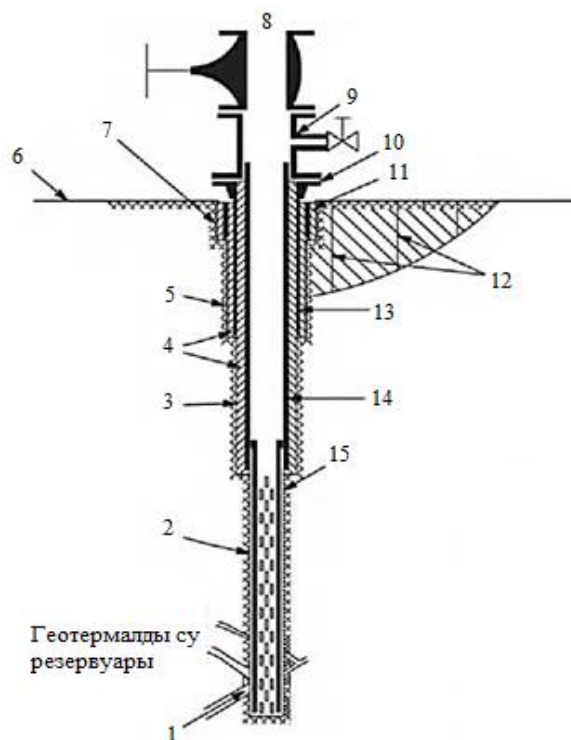
Геотермалдық резервуар – жер ядросының жылуы әсерінен жер асты және жер бетінен түсетін суларының қызуы нәтижесінде пайда болатын геотермиялық жылу тасығышы бар «энергетикалық қазандық» деуге болады.

Энергия және жылу өндіру қондырғыларына түсетін геотермиялық жылу тасығыштың қасиеттері көбінесе ұңғылар арқылы, ұңғыма арматурасы және бу дайындау жүйесі (кұбырлар, арматуралар, сепараторлар, кеңейткіштер және т.б.) арқылы көтерілу кезінде жүретін процестермен анықталады.

Геотермиялық жылу тасығыш су қоймасында жер асты суларының тау жыныстарымен жылу және массалық алмасу процесінде пайда болады. Бұл әрекеттесу процесі жылу тасығыштың жақсы еритін химиялық қосылыстармен де, қатты қоспалармен де, сондай-ақ осы жыныстардағы газдармен де еруі және қанықтыруымен бірге жүреді. Геотермиялық жылу тасығышты жылумен қамтамасыз ету Жердің өзегінен келеді, оның орталығындағы температура 5000-6000 °C-қа жетеді. Тектоникалық бұзылулар болған жерлерде ыстық су мен бу гейзерлер мен ыстық бұлақтар түрінде жер бетіне шығады. Басқа аймақтарда жер асты суларының жылуын пайдалану әлдеқайда қиын, өйткені ыстық су 3000 м-ден астам тереңдікте жатыр, бұл ұңғымаларды бұрғылауға қосымша шығындарды талап етеді. Өнеркәсіптік масштабта буды немесе бу-су қоспасын алу үшін жыныста ұңғыма бұрғыланады және клапан орнатылады, 14.2-суретте өнімді ұңғыманың құрылғысы көрсетілген.

Көптеген геотермалдық резервуарлар жылу тасығыштың температурасына сәйкес үш топқа бөлуге болатын ірі геотермалдық жүйелерге кіреді:

- төмен температуралы (125 °C төмен);
- орташа температуралы (125-225 °C);
- жоғары температуралы (225 °C жоғары).



1 - геотермиялық жылу тасығыш; 2, 3, 5, 7 - тиісінше диаметрі 194; 270; 419 және 533 мм болатын ашық ұңғыманың тік құбырлары; 4 - цементті сақиналы жол; 6 - ауыз қуысының алаңы; 8 - түбірлік клапан (диаметрі 203 мм); 9 - ұңғыма аузындағы компенсаторы; 10 - ұңғыма аузындағы қаптамасының фланеці; 11 - бағыттаушы; 12 - толтыру тесіктері; 13 - өткізгіш (диаметрі 340 мм); 14 - өндірістік жол (диаметрі 219 мм); 15 - сүзгі бағанасы (диаметрі 168 мм)

#### 14.2 сурет - Өндірістік ұңғыманың (скважинаның) құрылғысы

Жылу ағынының мәндерін, тау жыныстары мен геотермиялық жылу тасығыштың сипаттамаларын біле отырып, жоғарыда аталған топтардың әрқайсысында геотермиялық резервуарды анықтауға болады.

Барлық су резервуарларын (қоймаларын) шағын қуаттылықтағы (50 МВт-қа дейін) ГеоЭС және жылу өндіруге арналған ГеоЖС салу үшін пайдалануға болады, ал бүгінгі күнге дейін барланған резервуарлардың тек 10%-дан азы ғана қуаттылығы 50 МВт-тан асатын ГеоЭС салу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Геотермиялық жылу тасығыштың агрегаттық күйі бойынша кен орындары келесідей жіктеуге болады:

- құрғақ будың кен орындары - ресурстарды игеру салыстырмалы түрде оңай, бірақ өте сирек кездеседі;
- ылғалды будың кен орындары - жиі кездеседі. Оларды игеру барысында ГеоЭС жабдығында коррозия пайда болуына байланысты мәселелер туындайды;

- ыстық су кен орындары – кең таралған, негізінен жылумен қамтамасыз ету үшін және жылыжайларда қолданылады.

Геотермальды су қоймасында суды қыздырып қана қоймай, оның әртүрлі қоспалармен, минералдармен, тұздармен және газдармен белсенді қанығуы да жүреді. Демек, геотермиялық жылу тасығыш судың тау жыныстарында кездесетін минералдармен әрекеттесуі нәтижесінде геотермиялық резервуарда пайда болатын көп фазалы және көп компонентті орта болып табылады.

Геотермиялық жылу тасығыштың маңызды ерекшелігі сонымен қатар конденсацияланбайтын газдардың көп мөлшерінің болуы болып табылады. Геотермальды кен орынында конденсацияланбайтын газдардың концентрациясы әдетте жылу тасығыштың салмағы бойынша 0,1-5% құрайды, алайда бу құрамында 20% дейін болатын шөгінділер бар.

Конденсацияланбайтын газдар турбиналардағы будың кеңею процестеріне әсер етіп, коррозиялық қосылыстар түзейді.

Агрегаттық күйі бойынша бір жіктеу тобына кіретін әртүрлі кен орындарының геотермиялық жылу тасығыштары химиялық құрамы бойынша айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін.

Жылу тасығыштар минералдану дәрежесі, қаттылығы және массалық газбен қанығуы бойынша да ерекшеленеді. Әртүрлі геотермалдық кен орындарының суларының минералдануы әдетте 2-500 г/л аралығында болады.

Жер асты резервуарының геотермиялық жылу тасығышы өнімді ұңғыманың тік құбыры арқылы жер бетіне өздігінен түседі, оның тереңдігі 500-ден 3000 м-ге дейін өзгеруі мүмкін. Әдетте, резервуардағы судың қысымы жаңадан бұрғыланған ұңғыманың тік құбырындағы гидростатикалық қысымынан аспайды. Ыстық геотермиялық жылу тасығыш резервуардан ұңғыма тік құбырымен көтерілген сайын оның қысымы төмендейді, сондықтан су қайнап буланып, ылғалды қаныққан, кейде қатты қызған бу болып түседі.

Алдымен су бағанында ағында біркелкі бөлінген бөлек бу көпіршіктері пайда болады, содан кейін қысым төмендеген сайын қайнау күшейіп, бу көпіршіктері біріктіріледі. Әрі қарай сұйық фаза құбырдың қабырғалары бойымен ағып, орта біркелкі бөлінген ылғал тамшылары бар дымқыл буға айналады. Мұндай бу-су қоспасының ұңғымадан шығудағы ылғалдылығы әдетте 60-70% жетеді.

Айта кету керек, ұңғыма аузындағы түбірлік клапанның ашылу дәрежесін өзгерту кезінде жылу тасығыштың шығысымен бірге клапан алдындағы және ұңғыма түбіндегі қысым да өзгереді. Сәйкесінше, түбірлік клапан неғұрлым ашық болса, соғұрлым оның алдындағы және ұңғыма түбіндегі қысым төмендейді, ал ұңғымадағы су деңгейі төмендейді.

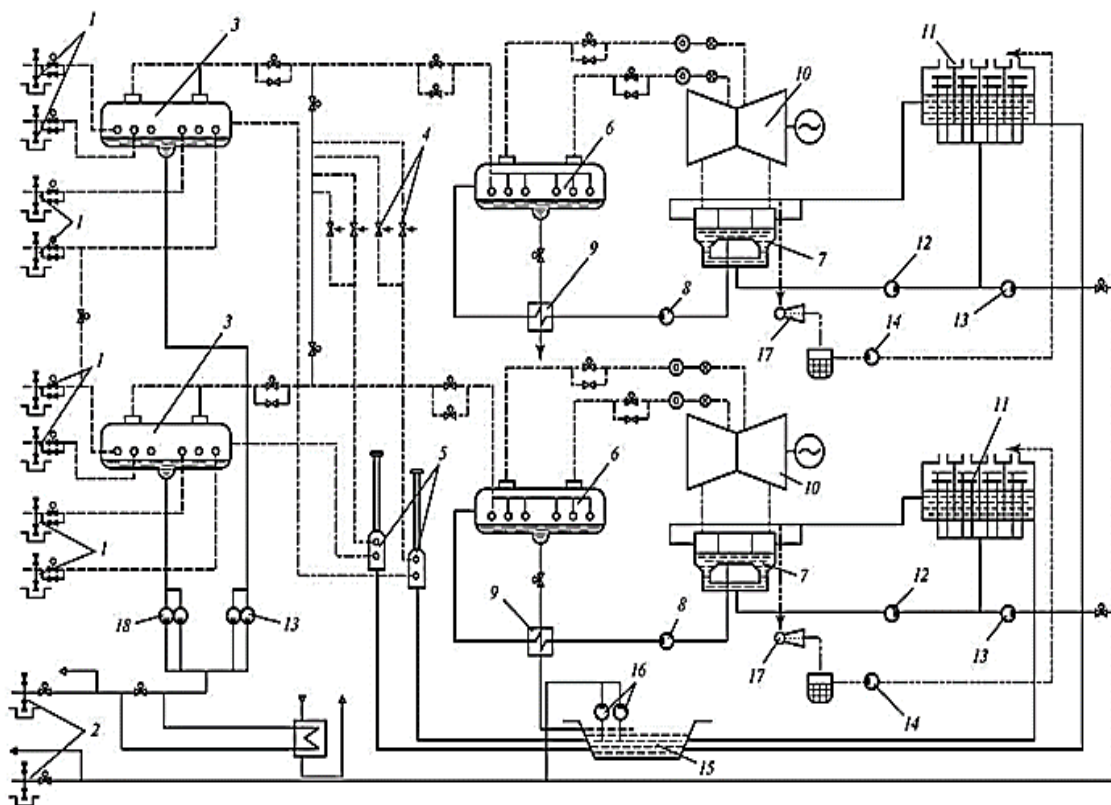
## **14.2 ГеоЭС-те электр энергиясын өндірудің технологиялық процесі**

ГеоЭС-те электр және жылу көзі бірнеше атмосфералық қысыммен және бірнеше жүз градустық температурамен ұңғымадан шығатын ыстық геотермиялық жылу тасығыш (бу) болып табылады. Бұл бу «тегін», яғни

органикалық отын немесе ядролық отын сияқты басқа көздерден алынатын жылу және оны сығуға арналған энергия оны өндіруге жұмсалмайды.

Бастапқы геотермиялық будың ерекшеліктері жоғары ылғалдылық, қоспалармен, соның ішінде агрессивті заттармен өте қаныққандығы және конденсацияланбайтын газдардың көп мөлшерінің болуы. Мұндай буды бу турбинасына жеткізуге болмайды, өйткені турбинаның іші тамшы эрозиясы мен коррозияға байланысты өте тез істен шығады. Сондықтан бұл буды бірқатар құрылғыларға жіберіп тазалайды. Ылғалды ұңғымадан алынған будан айыру арқылы алып тастайды, оны агрессивті қоспалардан тазарту үшін жуады, қайтадан бөледі және осы операциялардан кейін ғана бу турбинасына жіберіледі.

Мысал ретінде 14.3-суретте әрқайсысының қуаты 25 МВт болатын екі энергоблоктан тұратын ГеоЭС жылу сұлбасы көрсетілген.



1 - түбірлік клапандары бар өнімді ұңғымалар; 2 - қайта айдау ұңғымалары; 3 - бірінші сатыдағы сепараторлары; 4 - босату клапандары; 5 - дыбысты (шуды) өшіргіштер; 6 - екінші сатыдағы сепараторлар; 7 - конденсаторлар; 8 - екінші сатыдағы сепараторлардағы бумен жуу сорғылары; 9 - желілік жылытқыштар; 10 - бу турбиналары; 11 - салқындату мұнаралары; 12 - айналым сорғылары; 13 - қайта айдау ұңғымаларына конденсатты айдауға арналған сорғылар; 14 - су сақиналы сорғылар; 15 - бөлінген суды авариялық ағызу үшін тоған; 16 - апатты тоғаннан бөлінген суды соруға арналған сорғылар; 17 - іске қосу эжекторлары; 18 - бөлінген суды қайта айдау сорғылары



14.3 сурет - Қуаты 50 МВт (2x25 МВт) ГеоЭС жеңілдетілген жылу сұлбасы

ГеоЭС артықшылықтары:

- Геотермалдық ресурстардың қорлары жаңартылатын, іс жүзінде сарқылмайтын болып саналады, бірақ бір шарт бойынша: айдау ұңғымасына аз уақыт ішінде көп мөлшерде су айдау мүмкін емес.

- Станция сыртқы отынды қажет етпейді.

- Қондырғы өздігінен, өндірілген электр қуатымен жұмыс істей алады. Сыртқы қуат көзі сорғыны бірінші іске қосу үшін ғана қажет.

– Станция техникалық қызмет көрсету және жөндеу жұмыстарының құнын қоспағанда, қосымша инвестицияны қажет етпейді.

– Геотермалдық электр станцияларына санитарлық аймақтар үшін орын қажет емес.

- Станция теңіз жағасында орналасса, оны табиғи суды тұщыту үшін пайдалануға болады. Бұл процесс станцияның жұмыс режимінде тікелей өтуі мүмкін - суды қыздырғанда және судың булануы салқындаған кезде. Бұл Маңғышлақ аймағына өте қатысты.

Геотермиялық қондырғылардың кемшіліктері:

- Геотермалдық станцияларды дамытуға, жобалауға және салуға үлкен бастапқы инвестиция қажет. Көбінесе геоэлектр станциясы үшін қолайлы орынды таңдауда және билік пен жергілікті тұрғындардан рұқсат алуда қиындықтар туындайды.

- Жұмыс істеп тұрған ұңғыма арқылы жер қыртысының құрамындағы жанғыш және улы газдардың, шығуы мүмкін. Кейбір заманауи қондырғылардағы технологиялар бұл шығарындыларды жинауға және отынға өңдеуге мүмкіндік береді. Қолданыстағы электр станциясы тоқтап қалуы да мүмкін. Бұл тау жынысындағы табиғи процестерге байланысты немесе ұңғымаға шамадан тыс су айдау салдарынан болуы мүмкін.

### **14.3 Күн электр станциялары**

Күн электр станцияларының жылулық және фотоэлектрлік түрлері болады.

Жылулық күн электр станциялары келесі түрлерге бөлінеді:

1 Мұнаралы күн жылу электр станциялары

2 Дискілік күн жылу электр станциялары

3 Параболалық концентраторлардағы күн жылу электр станциялары

4 Стирлинг қозғалтқыштарындағы күн жылу электр станциялары

5 Күн вакуумдық жылу электр станциялары

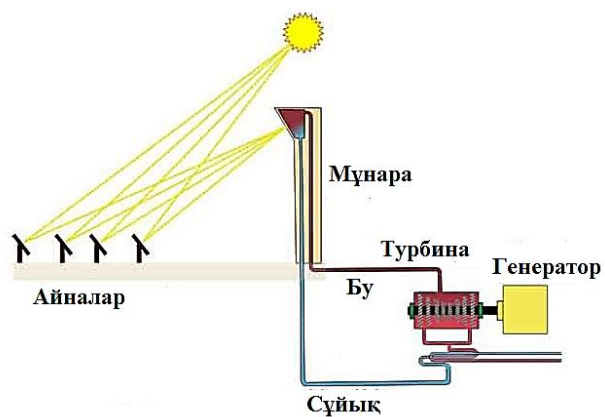
6 Фотоэлектрлік күн электр станциялары

7 Біріктірілген күн электр станциялары

1) Мұнаралы күн жылу электр станциялары

Бұл электр станцияларының ортасында биіктігі отыз метрге жететін энергетикалық мұнара бар. Бұл мұнаның ең биік нүктесінде суы бар су резервуары орнатылады.

Мұнаның айналасында шеңберлер бойымен гелиостаттар деп аталатын айналар орналасқан, 14.4-сурет. Әрбір айнаның айналмалы механизмі бар жеке тірекке орнатылады.

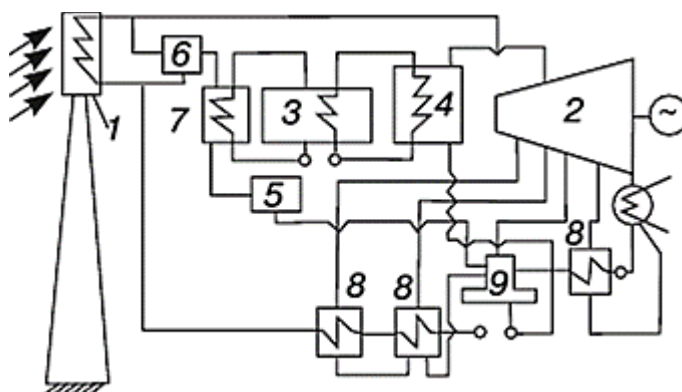


а)

б)

14.4 сурет - КүнЭС мұнарасының жалпы көрінісі (а) және жұмыс сұлбасы (б)

Түрі мұнаралы ЖЭС (10 МВт, Баретоу, АҚШ) жылу схемасының мысалы 14.5-суретте көрсетілген.



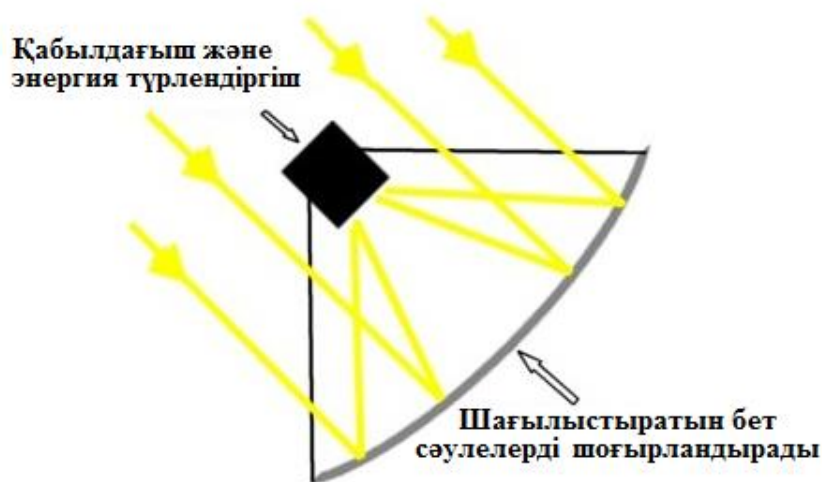
1 - орталық қабылдағыш; 2 - турбина; 3 - жылу аккумуляторы; 4 - жинақтау жүйесінің бу генераторы; 5 - кеңейту резервуары; 6 - сақтау жүйесін толтыратын бу салқындатқышы; 7 - жылу сақтау жүйесінің аралық қыздырғышы; 8 - регенеративті жылытқыштар; 9 – деаэратор

14.5 сурет - Мұнаралы күн электр станциясының жылу сұлбасы (10 МВт, Баретоу, АҚШ)

## 2) Дискілік күн жылу электр станциялары

Негізінен дискілі күн жылу электр станцияларының мұнаралы жылу электр станцияларынан айтарлықтай айырмашылығы жоқ. Баяғы рефлектор, сол қабылдағыш - су резервуары.

Айырмашылықтар станцияның құрылысында жатыр. Мұндай қондырғы дискілі модульдік негізде салынған. Модульдер неғұрлым көп болса, соғұрлым қуат жоғары болады. Дискілі модульдің жұмыс істеу схемасы 14.6-суретте көрсетілген.

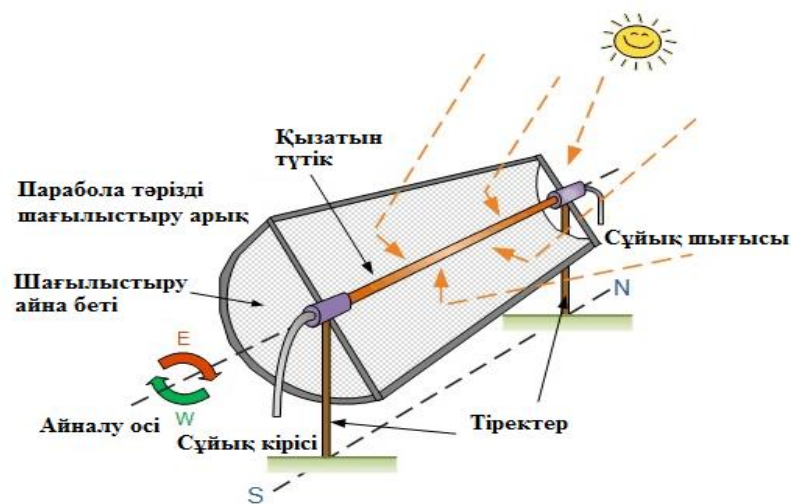


14.6 сурет - Дискілі модульдің жұмыс істеу сұлбасы

## 3) Параболалық концентраторлардағы күн электр станциялары

Егер мұнаралы және диск тәрізді күн жылу электр станциялары бір контурлы қондырғылар болса (қабылдағыштардағы бу тікелей турбогенераторларға түседі), онда параболалық концентраторлардағы күн электр станциялары екі контурлы болып жіктеледі.

Осы типтегі электр станцияларында жұмыстық дене ретінде жылу тасығыш болып табылады, содан кейін ол өз жылуын бу түзетін ортаға береді, 14.7-сурет.

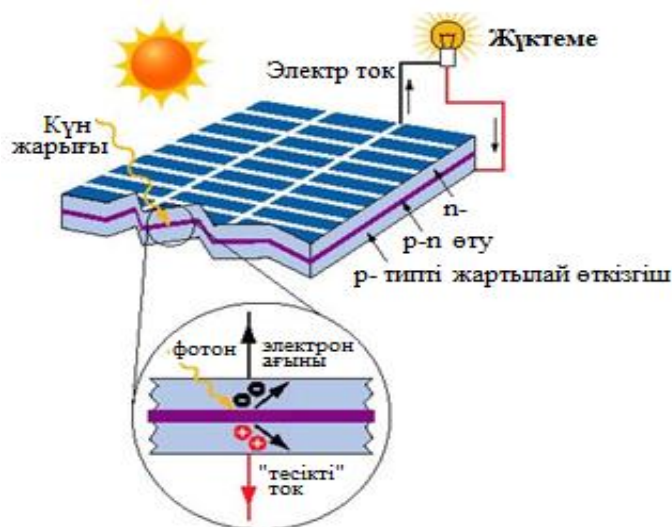


14.7 сурет - Параболалық концентраторлардың жұмыс атқару сұлбасы

#### 4) Фотоэлектрлік күн электр станциялары

Көптеген фотоэлектрлік панельдерді пайдаланатын электр станциялары жеке объектілерді автономды қамтамасыз ету үшін қолданылады.

Фотоэлектрлік модульдердің қызмет ету мерзімі ішінде ұяшықтар бойынша тиімділігінің төмендеуі жоғары пайдаланулық шығындарды білдіреді. Қазіргі уақытта күн панельдерінің қол жетімді түрлерінің құрылымы бірдей, 14.8-сурет.



14.8 сурет - Күн панельдерінің жұмыс атқару сұлбасы

Күн батареяларының заманауи кепілдік мерзімі шамамен 25 жыл.

#### 5) Біріктірілген күн электр станциялары

Электр энергиясын өндіру үшін күн энергиясын қолдануының екі түрі де фотоэлектрлік генерацияның, жұмыс денені жылыту да оны одан әрі жылу энергиясын механикалық және электр энергиясына түрлендіру ретінде немесе ғимараттарды жылыту үшін пайдалануға болады.

Шығындарды белгілі бір дәрежеде өтеу үшін бұл электр станцияларында қосымша қондырғылар орнатылған, мысалы, тұтынушыларды ыстық сумен қамтамасыз ете алатын жылу алмастырғыштар. Сонымен қатар, күн батареяларын концентраторлармен қатар орнатуға болады, бұл қосымша электр қуатын алуға мүмкіндік береді.

#### **4) Қазақстанның геотермалдық және күн энергетикасының даму перспективалары**

Қазақстанда жаңартылатын энергияның басқа түрінің әлеуеті толық зерттелмеген - геотермалдық энергия (топырақтың, жер асты суларының, өзендердің, су қоймаларының жылуы), оның артықшылығы оны жылумен қамтамасыз ету үшін де, электр энергиясын өндіру үшін де пайдалану мүмкіндігі болып табылады.

Қазақстанда геотермалдық сулар аймақтық геологиялық зерттеулер, көмірсутек шикізаты үшін терең ұңғымаларды бұрғылау және басқа жұмыстар кезінде анықталды. Ал іздеу-бағалау жұмыстарын елді мекендерді жылумен және сумен қамтамасыз ету мақсатында пайдалануға болады.

Қазақстандағы негізгі мүмкіндіктер ғимараттарды жылумен қамдау болуы мүмкін, бірақ ең ыстық геотермалдық кен орындарынан электр станциялары арқылы электр энергиясын өндіруге болады.

Кең байтақ аумағымен, халық тығыздығы төмен, шуақты күндердің көптігімен және салыстырмалы түрде аз өзендері бар Қазақстан үшін күн энергиясы жаңартылатын энергияның негізі бола алады. Республикада күн энергиясының жалпы жылдық әлеуеті зор. Ұлттық инновациялық қордың мәліметі бойынша ол шамамен 340 миллиард тонна эталондық отынға бағаланады. Жылына күн сәулесінің сағат саны 2-3 мыңға жетеді, ал күн радиациясының энергиясы жылына бір шаршы метрге ( $m^2$ ) 1,2 кВт құрайды.

Бұл деректер біздің елімізде күн энергетикасын дамыту перспективасының айтарлықтай қолайлы екенін көрсетеді. Республиканың оңтүстігінде күн энергиясының әлеуеті ерекше, мәселен, Оңтүстікте күн энергетикасы саласында жалпы қуаттылығы 342 МВт болатын 7 жоба мақұлданған.

Фотоэлектрлік модульдерге негізделген кремнийлі күн энергиясы негізінен Қазақстанда дамиды деп болжануда. Өкінішке орай, Қазақстанда күн жылу электр станцияларының құрылысын дамыту ғылым мен өндіріс озық әлемдік деңгейге жеткенде алыс болашақта болуы мүмкін.

Елдегі Astana Solar фотоэлектрлік модульдерін шығаратын бірінші зауыт 2012 жылдың желтоқсанында іске қосылды. Зауыттың конвейерінен сағатына 30 панель шығады. Күн батареялары электр желілерінен тыс орналасқан шалғайдағы өндірістерде, электр қуаты жиі үзілетін өнеркәсіптік нысандарда, елді мекендер мен фермаларда қолданылады. Айтпақшы, фотоэлектрлік модульдер зауыттың төбесінде де орнатылған.

Қазақстандағы күн электр станцияларының жалпы белгіленген электр қуаты 2020 жылғы 1 қазандағы жағдай бойынша 839 МВт құрайды. 14.1-кестеде Қазақстанның қолданыстағы күн электр станциялардың тізімі келтірілген.

14.1 кесте - Қазақстанда қолданыстағы күн электр станциялары

КЭС аты	Иесі	Қуаты, МВт	Аймақ
1 Бурное	Samruk Kazyna - United Green	100	Жамбыл
2 Сарань	ЖШС «SES Saran»	100	Қарағанды
3 Нура		100	Ақмола
4 Акадыр	ЖШС «КазСолар50»	50	Қарағанды
5 Гульшат	ЖШС «КПМ-Дельта»	40	Қарағанды
6 Кенгир	Казахмыс	10	Қарағанды
7 Қапшағай	ЖШС «Samruk Green Energy»	2	Алматы
8 Отар	ЖШС «КазЭкоВатт»	0,5	Жамбыл

### Бақылау сұрақтар

1. Геотермиялық жылу тасығыш қалай түзіледі?
2. Геотермиялық жылу тасығыштың жоғары минералдануы немен байланысты?
3. Неліктен геотермиялық будың құрғақтық дәрежесі туралы түсінік оның минералдануымен байланысты?
4. Көлденең сепараторлардың артықшылықтары қандай?
5. Будың «шаюының» мақсаты қандай?
6. ГеоЭС турбиналарының ерекшеліктері қандай?
7. Саты-сепаратор не үшін және ол қандай әсер береді?
8. Неліктен ГеоЭС-те турбиналық конденсаторлар тот баспайтын болаттан жасалған?
9. Неліктен суық климатта ГеоЭС тиімділігі жоғары болады?
10. Күн жылу электр станцияларының жұмыс атқару қағыдасы қандай?
11. Қазақстандағы күн энергетикасының келешегі қандай?
12. Қазақстанда қандай күн электр станциялары бар?

### 15 Дәріс. Энергетикадағы сутегі технологияларына кіріспе

#### 15.1 Сутегі энергетикасы қуат өндіру көздерінің дамуының перспективалық бағыты

«Сутегі энергиясы» түсінігі белгілі бір мағынада «электр энергетикасы» ұғымына ұқсас. Әрқайсысы әмбебап қайталама энергия тасымалдаушыларды - электр және сутегін өндіру, тасымалдау, жинақтау және пайдалану технологияларының жиынтығын біріктіреді. Екі энергия тасымалдаушы да жоғары энергия тиімділігімен (теориялық тұрғыдан 100% дейін) өзара конверсиялануы мүмкін, мысалы, судың ыдырауы мен синтезінің

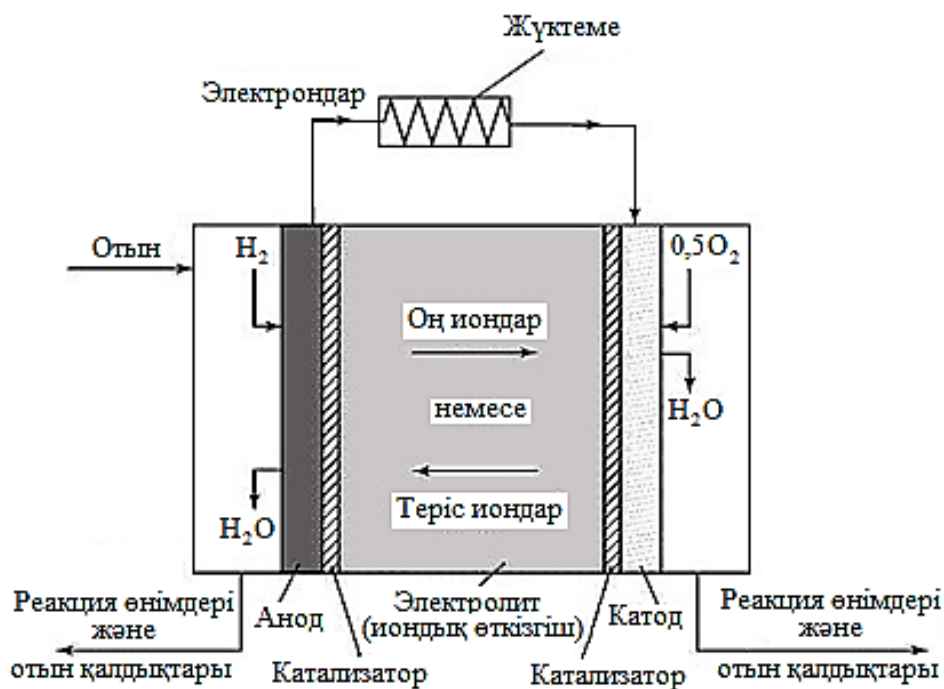
электрохимиялық процестерін (электролизерлер мен отын элементтері) пайдалану кезінде. Энергияның соңғы тұтынушыларын энергиямен жабдықтау жүйелерінде екі энергия тасымалдаушы да зиянды шығарындылардың толық болмауын қамтамасыз етеді. Дегенмен, оларды өндіруде барлық жағдайларда бастапқы энергетикалық ресурстардың - көмірсутекті табиғи отындардың, атом энергиясының немесе жаңартылатын энергия көздерінің энергиясын түрлендірудің сол немесе басқа процесі қоршаған ортаға сәйкес әсер ете отырып жүзеге асырылады. Бұл энергия тасымалдаушылардың тұтынушылық қасиеттері әртүрлі. Сутегі электр энергиясына қарағанда жинақтау, сақтау және тасымалдау оңай және арзанырақ. Оны көлік үшін экологиялық таза отын ретінде пайдалануға болады. Электр энергиясы сутегіге қарағанда жеңіл және тиімді, механикалық жұмысқа және энергияның басқа түрлеріне айналады және өнеркәсіпте, ауыл шаруашылығында және тұрмыстық секторда кеңінен қолданылады.

Техникалық-экономикалық негіздемелердің нәтижелері көрсеткендей, сутегі қайталама энергия тасымалдаушы болғанымен, яғни табиғи отынға қарағанда қымбатырақ, оны пайдалану кейбір жағдайларда экономикалық тұрғыдан тиімді. Сондықтан көптеген, әсіресе өнеркәсібі дамыған елдерде сутегі энергетикасы бойынша жұмыс ғылым мен техниканы дамытудың басым бағыттарының бірі болып табылады және мемлекеттік органдар тарапынан да, жеке капитал тарапынан да қаржылай қолдау көрсетілуде.

## **15.2 Электр энергиясын өндіруге арналған сутегі технологиялары**

Сутегі отынының химиялық энергиясын электр энергиясына әртүрлі әдістермен түрлендіруге болады: тікелей отын элементтерінде (электрохимиялық генераторларда), бу турбинасында, газ турбинасында және аралас (бу-газ) термодинамикалық циклдерінде сутегі тотығуының электрохимиялық процестерінің нәтижесінде, оттегіде немесе ауада сутегі жанған кездегі электр станциялары, сондай-ақ екі негізгі процесті - жоғары температуралы отын элементтерін қолдану арқылы электрохимиялық және термодинамикалық - газ турбинасында немесе аралас циклде жүзеге асыратын гибридті электр станцияларында.

Отын ұяшықтары (элементтері) – отынның химиялық энергиясын тікелей электр энергиясына түрлендіретін электрохимиялық құрылғылар. 15.1-суретте олардың сұлбалық көрінісі берілген.



15.1 сурет - Отын ұяшығының (ОҰ) жұмыс сұлбасы

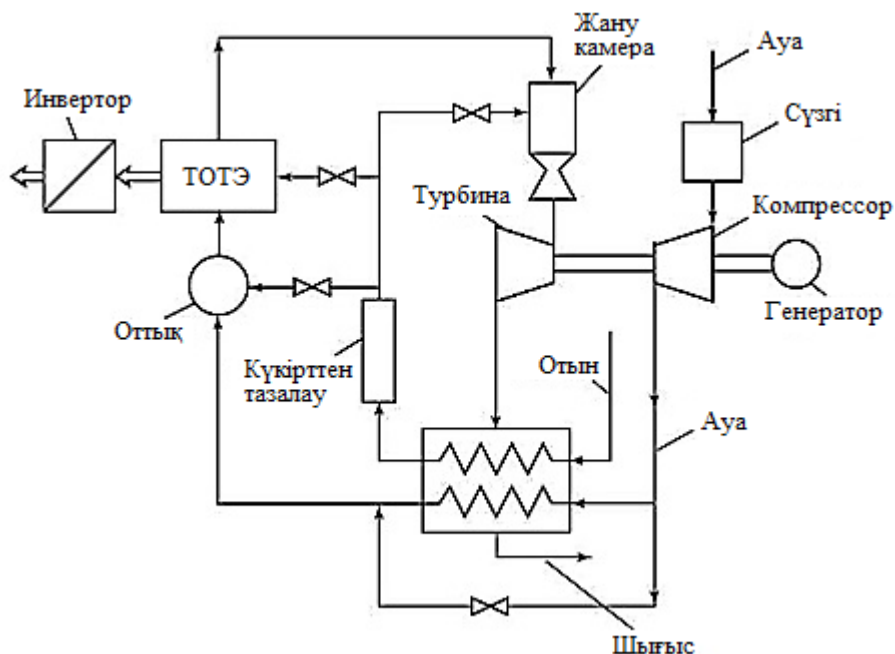
Отын ұяшығы (ОҰ) әртүрлі жағынан кеуекті анод пен катодпен жанасатын электролит қабатынан (иондық өткізгіш) тұрады. Анодта отынның (сутегінің) электр тотығу реакциясы жүреді, соның нәтижесінде бос электрондар түзіледі, олар сыртқы контур арқылы катодқа ағып, жол бойында жұмыс істейді. Тотықтырғыштың (оттегі) электрохимиялық тотықсыздануы катодта жүреді. Электр тізбегі электролиттегі иондардың бір электродтан екіншісіне ауысуымен тұйықталады. Бұл тасымалдаудың бағыты және иондардың заряды әртүрлі типтегі отын ұяшықтары үшін әртүрлі болуы мүмкін, бұл реакция өнімінің, судың пайда болу орнын да анықтайды.

Мұндай жүйелерде қысыммен жұмыс істейтін жоғары температуралы отын ұяшықтары (көбінесе түрі ТОТЭ) және газ турбинасы қолданылады. Siemens-Westinghouse жасап жатқан гибридіті энерго қондырғының қарапайым (оңайлатылған) схемасы 15.2-суретте көрсетілген.

Энергетикалық қондырғылары үшін отын ретінде сутегінің бірқатар маңызды ерекшеліктері бар: тұтану мен тұрақты жанудың концентрациясының кең шектері, жалынның жоғары таралу жылдамдығы (метанға қарағанда 7 есе жоғары), оттегі мен ауада жану кезінде белсендіру энергиясының төмендігі.

Төменгі жылулық құндылығы бойынша 1 тонна  $H_2$  4,1 тонна шартты отынға немесе 2,75 тонна бензинге немесе 2,4 тонна метанға тең. Жану камерасының саптамасының көлденең қимасы арқылы берілетін меншікті жылу қуаты сутегі үшін метанға қарағанда 1,7 есе жоғары.





15.2 сурет - Гибридті энерго қондырғының қарапайым сұлбасы

### 15.3 Жылу электр станцияларына отын ретінде сутегінің ерекшеліктері

Сутегінің қасиеттері отын-тотықтырғыш құрамының кең ауқымында жану камераларының жұмысының жоғары тұрақтылығын, сутегі бу генераторларының салыстырмалы түрде шағын мөлшерін және олардың орташа құнын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Сутегінің жану өнімі - қоршаған орта температурасындағы су буы толығымен конденсацияланады, яғни отын ретінде сутекті максималды тиімділікпен пайдалануға болады.

Энергетика үшін оттегідегі сутегінің стехиометриялық қоспасының жануы таза өте қызған су буын - заманауи бу турбиналық қондырғылардың жұмыс сұйықтығын түзетін жағдайдың үлкен маңызы бар. Жылуды отыннан жұмыс сұйықтығына беру жану өнімдерін (жоғары температурасы бар өте қызған су буы) жұмыс сұйықтығымен (су немесе бу) араластыру арқылы жүзеге асырылуы мүмкін, яғни отын энергиясының ең аз шығынымен.

### 15.4 Сутегі-оттекті бу генераторлары

Сутегі-оттекті бу генераторы бу турбиналық циклді пайдалануға негізделген сутегі жылу электр станциясының негізгі элементі болып табылады. Оның рөлі бу турбиналық қондырғының жұмысы үшін жоғары сортты бу беретін классикалық жылу электр станциясындағы қазандықтың рөліне ұқсас.

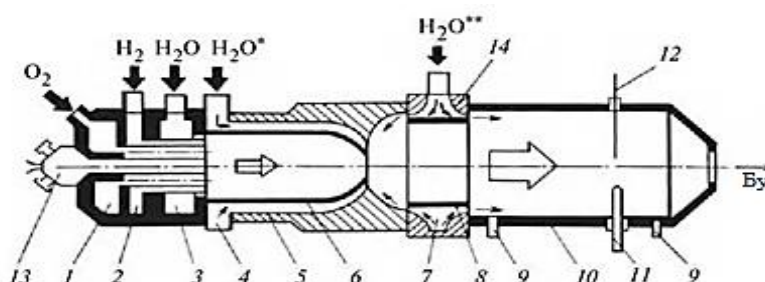
Өзінің мақсатына сәйкес сутегі-оттекті бу генераторы бу қазандығы қызметін атқарады, бу турбины қондырғысын жоғары тазалықтағы, кез келген параметрлердегі және бұға тән энергетикалық қасиеттері бар жұмыс

сұйықтығымен қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, сутегі-оттегі бу генераторының екі негізгі артықшылығы жүзеге асырылады: азот оксидтерінің, көмірқышқыл газының, күкірт оксидтерінің және басқа зиянды заттардың түзілу мүмкіндігінің толық болмауы, оларды басу үшін үлкен материалдық шығындар мен жиі қазандықтардың техникалық мүмкіндіктерін шектейді, сондай-ақ бу турбиналық қондырғының жұмыс процесі үшін қажетті жоғары қысымда сутегі жануының өту процестерімен байланысты өлшемдерінің жинақылық.

Дәстүрлі бу генераторларында будың максималды температурасы 600-620 °С дейін шектеледі, өйткені жоғары температурада бұл бу ағып жатқан құбыр жүйесінің ұзақ мерзімді беріктігін қамтамасыз ету мүмкін емес.

Сутегі-оттегі бу генераторларында құбыр жүйесі мүлдем жоқ, жану аймағы қысымның төмендеуімен жүктелмеген жұқа қабырғалары бар экранмен шектеледі. Сондықтан  $H_2/O_2$  бу генераторында шығатын бу температурасы негізінен бу генераторынан бу пайдаланатын жүйелердің ұзақ мерзімді беріктігіне байланысты.

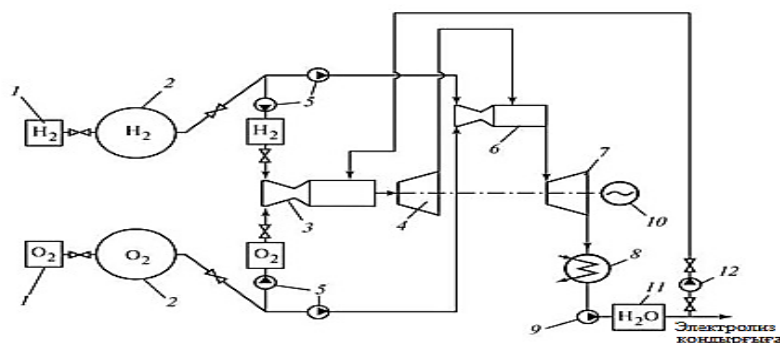
15.3-суретте тәжірибелік энергетикалық сутегі-оттегі бу генераторының схемасы көрсетілген. Бу генераторы үш негізгі блоктан тұрады: араластырғыш бастиегі, оның ортасында тұтандырғыш құрылғысы 13; корпустан 5 және оған орналастырылған жалын түтігінен 6 тұратын жану камерасы; балласт суын айдау қондырғысы, булану және араластыру камералары.



1 - оттегі беру камерасы; 2 - сутегі беру камерасы; 3,4 - сәйкесінше ішкі және сыртқы беттерден жалын түтігін салқындату үшін салқындатқыш суды беруге арналған камералар; 5 - жану камерасының корпусы; 6 - жану камерасының жалын түтігі; 7 - балласт суының камерасы; 8 - цилиндрлік экран; 9 - манометрлер; 10 - араластырғыш камераның корпусы; 11 - газ анализаторы; 12 - температура өлшегіш; 13 - тұтандыру құрылғысы; 14 - балласт суын айдау қондырғысының корпусы

15.3 сурет - Сутегі-оттегі бу генераторының сұлбасы

15.4-суретте сутекті энерго блогының принципіалды сұлбасы көрсетілген.



1 - сутегі мен оттегінің көздері; 2 - сақтау қойма; 3 - жаңа будың сутегі-оттекті бу генераторы; 4 - бу турбинасының жоғары қысымды бөлігі (ЖҚБ); 5 - күшейткіш компрессорлар; 6 - аралық буға арналған сутегі-оттекті бу генераторы; 7 - бу турбинасының төмен қысымды бөлігі (ТҚБ); 8 - конденсатор; 9 - конденсат сорғы; 10 - генератор; 11 - конденсат қорының резервуары; 12 - қоректендіру сорғысы

15.4 сурет - Жылу электр станцияларында сутекті отын ретінде пайдаланудың технологиялық сұлбасы:

### 15.5 Сутегі энергетикасының техникалық және экономикалық жағынан тұжырымдамасы

Жылу энергетикасында сутегі технологияларын қолдану және энергетиканың перспективалы сутегі технологияларының тізімі әлдеқайда кең, бұл автономды электр станциялары және жаңартылатын энергия ресурстарына негізделген электр станциялары, қуатты турбогенераторларға арналған сутегі салқындатудың жаңа жүйелері және т.б.

Энергетика саласындағы сутегі технологияларының техникалық-экономикалық көрсеткіштерін бағалаудың дәстүрлі тәсілдері олардың тиімділігіне толық баға беруі қиын, өйткені қазіргі уақытта сутегі электр станциялары жоқ және энергиямен жабдықтау жүйелерін дамытуда экологиялық факторларды есепке алу әдістері әзірленбеген. Сонымен қатар, сұйық және газ тәріздес көмірсутекті отынды тұтынудың өсуі және қымбаттауына қарай оны жасанды екінші реттік экологиялық таза энергия тасымалдаушылармен - сутегімен және оның негізіндегі жасанды отынмен алмастыру қажет екені анық, бұл атом электр станцияларының, су электр станцияларының, жаңартылатын көздердің, көмірдің энергиясын пайдалана отырып өндірілетін болады.

Бұл сутектің тұтынушылары тек сутегін сақтау ЖЭС-тері ғана емес, сонымен қатар халық шаруашылығының көптеген маңызды салалары: мұнайды терең өңдеу, химия өнеркәсібі, көмір-химия өнеркәсібі болуы мүмкін, синтетикалық отын өндіру, металлургия, экологиялық таза көлік және басқа да салалар.

Әмбебап экологиялық таза екінші реттік энергия тасымалдаушы және энергия сақтаушы ретінде сутекті өндіру, сақтау, тасымалдау және пайдалану

инфрақұрылымын құру қажеттілігі туындайды. Бұл мәселені шешуде электр энергиясы мен сутегін өндіруге негізделген энергия жетекші рөл атқарады.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Сутектің энергия тасымалдаушы және отын ретіндегі негізгі ерекшеліктері қандай?
2. Сутегті энергетикасы қуат өндіру көздерінің дамуының перспективалық бағыттарын айтып беріңіз.
3. Электр энергиясын өндіруге арналған қандай сутегі технологиялары бар?
4. Сутекті пайдаланып электр энергиясын өндірудің қандай технологияларын төмен қуатта және қайсысын жоғары қуатта қолданған тиімді?
5. Жылу электр станцияларына отын ретінде сутегінің ерекшеліктері қандай?
6. Сутегі-оттегі бу генераторларының жұмыс атқару қағидасы?
7. Сутегі-оттекті бу генераторларын пайдалана отырып, жылу электр станцияларында электр энергиясын өндірудің технологиялық схемалары.
8. Энергетикада және халық шаруашылығының басқа салаларында сутегі технологияларын қолданудың перспективалық бағыттары қандай?

## Әдебиеттер тізімі

### *Негізгі*

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов: под общей редакцией Е.В. Аметистова. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательский дом МЭИ, 2016.
2. Современная теплоэнергетика, том 1: учебник для вузов: под ред. А.Д. Трухний. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательский дом МЭИ, 2016. 512 с.
3. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины/А.Д. Трухний. М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Трухний А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки/ А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
5. Трухний А.Д. Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, А.Е. Булкин. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
6. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов/ С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. М.: Издательский дом МЭИ, 2011.
7. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

### *Қосымша*

8. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
9. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. М. : Издательство МЭИ, 1999.
10. Резников М.И. Котельные установки электростанций / М.И. Резников, Ю.М. Липов. М. : Энергоатомиздат, 1987.
11. Мейкляр М.В. Современные котельные агрегаты ТКЗ / М.В. Мейкляр. М.: Энергия, 1978.
12. Хзмалян Д.М. Теория горения и топочные устройства / Д.М. Хзмалян, Я.А. Каган. М. : Энергия, 1976.
13. Липов Ю.М. Котельные установки и парогенераторы / Ю.М. Липов, Ю.М. Третьяков. Ижевск : РХО Дупатса, 2003.
14. Топливо. Топливоприготовление. Топки и топочные процессы: справочник по котельным установкам / под ред. М.И. Неуймина, Т.С. Добрякова. М.: Машиностроение, 1993.
15. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции / Т.Х. Маргулова. М.: ИзДАТ, 1994.
16. Котов Ю.В. Оборудование атомных электростанций / Ю.В. Котов, В.В. Кротов, Г.А. Филиппов. М.: Машиностроение, 1982.
17. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие / В.М. Зорин. М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
18. Дворов И.Н. Геотермальная энергетика / И.Н. Дворов. М.: Наука, 1976.

Кибарин Андрей Анатольевич  
Ходанова Татьяна Викторовна  
Олжабаева Қарлығаш Сериковна

ЗАМАНАУИ ЖЫЛУ ЭНЕРГЕТИКАСЫ НЕГІЗДЕРІ  
(МАМАНДЫҚҚА КІРІСПЕ)

6В07103 – Жылу энергетикасы мамандығының барлық оқу түрлерінің  
студенттеріне арналған дәрістер жинағы

Редактор:  
Стандарттау бойынша маман:

Изтелеуова Ж.Н.  
Ануарбек Ж.А.

Басылымға қол қойылды  
Таралымы 100 дана  
Көлемі – 5,0 оқу- бас.ә.

Пішімі 60x84 1/16  
Баспаханалық қағаз № 1  
Тапсырыс Бағасы 2500 тг

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс  
университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының  
көшірме – көбейту бюросы  
050013 Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1