

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

Алмұхаш Нұрсұлтан Құралұлы

«Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГҚ құрылуының техника-  
экономикалық негіздемесін зерттеу»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

6B07101 - «Энергетика» мамандығы

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық  
емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Энергетика» кафедрасының

менгерушісі  
Р.Д. қауымдастырылған профессор  
Е.А. Сарсенбаев  
« 8 » 06 2025ж.  
ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»  
Институт энергетик  
и машиностроения

### ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГК  
құрылуының техника-экономикалық негіздемесін зерттеу»

6B07101-«Энергетика» мамандығы

Орындаған

Алмұхаш Н.Қ.

Пікір беруші  
ЖЭҚ кафедрасының доценті,  
тех. ғыл. канд

М.Е.Туманов  
(қолы)  
« 9 » 06 2025ж.

Ғылыми жетекші  
қауым. профессор

А.И. Бегимтаев  
(қолы)  
« 5 » 06 2025 ж.

Алматы 2025

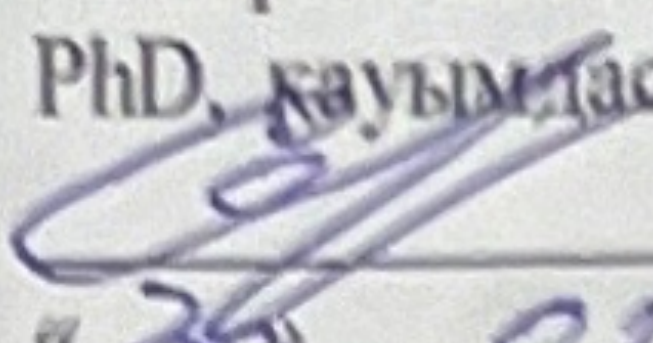
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ  
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ә.Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

«Энергетика» кафедрасы  
6В07101-«Энергетика» мамандығы

БЕКІТЕМІН

«Энергетика» кафедрасының меңгерушісі  
PhD, қауымдастырылған профессор

 Е. А. Сарсенбаев  
« 29 » 01 2025 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы Алмұхам Нұрсұлтан Құралұлы

Тақырыбы: «Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГК құрылуының техника-экономикалық негіздемесін зерттеу»

Университеттің академиялық мәселелер жөніндегі проректорының 29.01.2025 ж. №26-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «19» мамыр 2025 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер тізімі:

а) Бү және газ турбиналық қондырғылар және көмірді газдандыру;

б) Бү газ қондырғыларының (БГК) жылу схемасын сипаттау;

в) БГК құрылуының жылу электр станциясының негізгі жылулық схемасын құру;

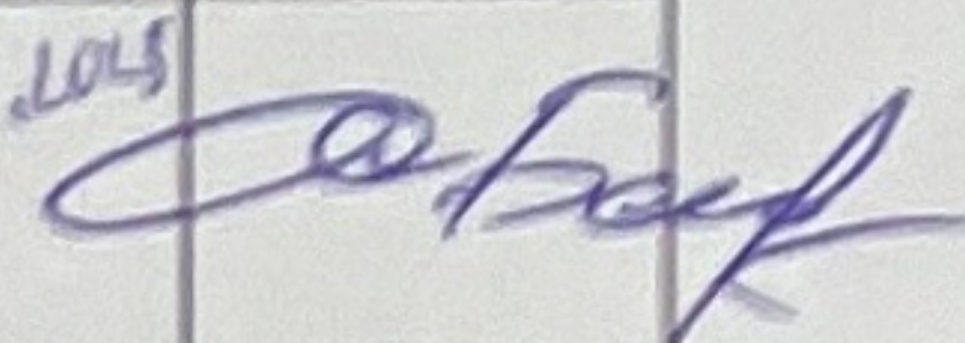
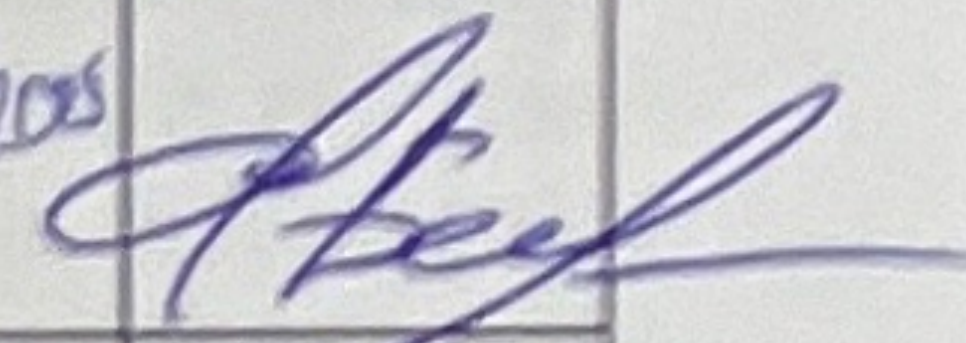
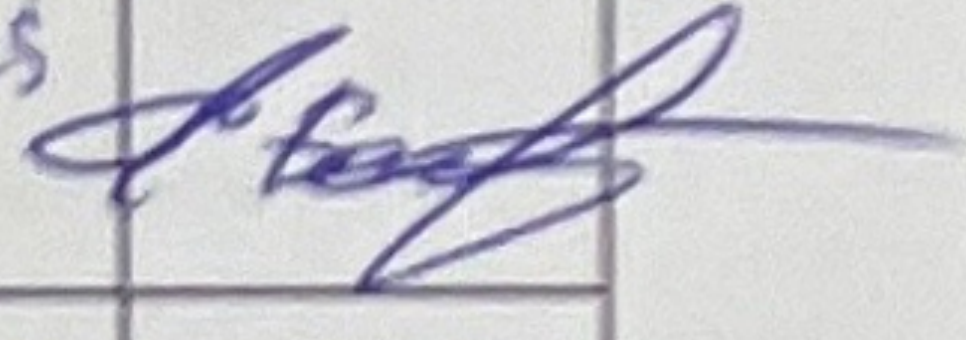
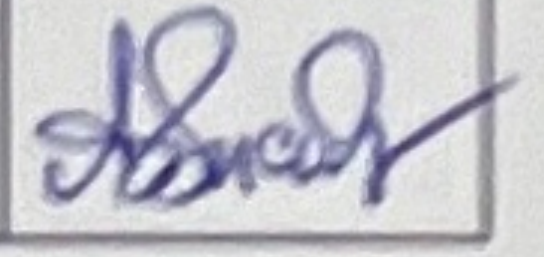
Сызба материалдар тізімі: Сызбалық материалдарды слайдпен көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 17

Дипломдық жұмысты дайындау  
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі                       | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|
| Бу және газ турбиналық қондырғылар және көмірді газдандыру            | 10.02.2025 ж.                                      | —       |
| Бу газ қондырғыларының (БГҚ) жылу схемасын сипаттау                   | 24.03.2025 ж.                                      | —       |
| БГҚ құрылуының жылу электр станциясының негізгі жылулық схемасын құру | 14.04.2025 ж.                                      | —       |

Аяқталған жұмысқа қойылған  
кеңесшілер мен норма бақылаушының  
қолтаңбалары

| Бөлім атауы                                                           | Ғылыми жетекші, кеңесшілер                     | Қол қойылған күні | Қолы                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Бу және газ турбиналық қондырғылар және көмірді газдандыру            | А.И. Бегимтаев, PhD қауымдастырылған профессор | 03.06.2025        |  |
| Бу газ қондырғыларының (БГҚ) жылу схемасын сипаттау                   | А.И. Бегимтаев, PhD қауымдастырылған профессор | 03.06.2025        |  |
| БГҚ құрылуының жылу электр станциясының негізгі жылулық схемасын құру | А.И. Бегимтаев, PhD қауымдастырылған профессор | 03.06.2025        |  |
| Норма бақылау                                                         | Ө. О. Бердібеков, магистр, аға оқытушы         | 02.06.2025        |  |

Жоба жетекші \_\_\_\_\_

(қолы)

А.И. Бегимтаев

Тапсырманы орындауға алған студент \_\_\_\_\_

(қолы)

Н.Қ.Алмұхаш

Күні

«30» 01 2025 ж.

## АҚДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста көмірді газдандыру арқылы ЖЭО-ның жұмысында көмірді жағудан алынатын энергияның тиімділігін арттыру, бұл өз кезегінде жалпы энергия өндірісін жақсарту. Жұмыс барысында Солтүстік Қазақстан облысында ұсынылып отырған қуаттылығы 550 МВт болатын БГҚ жобасы Қазақстан Республикасының өнеркәсібі үшін стратегиялық бағдарлама болып табылатын 2050 жылға дейінгі электр энергетикасы саласын дамыту бағдарламасының негізінде әзірленді.

Сонымен қатар ЖЭО-ның газдандыру қондырғысын құру арқылы жергілікті көмірді пайдалануды арттырып, сыртқы энергия көздеріне тәуелділікті азайту.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе повышению эффективности сжигания угля на ТЭЦ за счет газификации угля, что, в свою очередь, улучшает общее производство энергии. В ходе работы предложенный проект электростанции мощностью 550 МВт в Северо-Казахстанской области был разработан на основе Программы развития электроэнергетики до 2050 года, которая является стратегической программой для промышленности Республики Казахстан.

В то же время увеличение использования местного угля и снижение зависимости от внешних источников энергии за счет создания газификационной ТЭЦ.

## ANNOTATION

This thesis focuses on increasing the efficiency of coal combustion in CHP operation through coal gasification, which in turn improves overall energy production. During the work, the proposed 550 MW power plant project in the North Kazakhstan region was developed on the basis of the program for the development of the electric power sector until 2050, which is a strategic program for the industry of the Republic of Kazakhstan.

At the same time, increasing the use of local coal and reducing dependence on external energy sources by creating a CHP gasification plant.

## МАЗМҰНЫ

|     |                                                                                              |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|     | Кіріспе                                                                                      | 7  |
| 1   | Бу және газ турбиналық қондырғылар және көмірді газдандыру                                   | 10 |
| 1.1 | Газ қондырғылары нарығын дамытудың әлемдік тенденциялары                                     | 10 |
| 1.2 | Көмірді газдандыру                                                                           | 14 |
| 1.3 | Қазандық пештерде отынды жағудың қолданыстағы схемалары                                      | 19 |
| 2   | Бу газ қондырғыларының (БГҚ) жылу схемасын сипаттау                                          | 25 |
| 2.1 | Бу газ технологиясының негізгі принциптері                                                   | 25 |
| 2.2 | SGT5-8000H газ турбины                                                                       | 29 |
| 2.3 | Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру                                                       | 32 |
| 2.4 | Бір контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары                                   | 36 |
| 2.5 | Қуаты 550 МВт БГҚ, екі контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларын (БГҚ) есептеу | 43 |
| 3   | БГҚ құрылуының жылу электр станциясының негізгі жылулық схемасын құру                        | 55 |
| 3.1 | ЖЭС схемаларының негізгі құрылымы                                                            | 55 |
| 3.2 | Қалдық жылу қазандығын есептеу                                                               | 60 |
| 3.3 | Бу турбинының қуатын және бу газ қондырғыларының экономикалық көрсеткіштерін анықтау         | 65 |
| 3.4 | Математикалық модельдеу арқылы көмір шаңын газдандыру процесін зерттеу нәтижелері            | 67 |
|     | Қорытынды                                                                                    | 72 |
|     | Пайдаланылған әдебиеттер тізімі                                                              | 73 |

## КІРІСПЕ

Алматы қаласындағы Жылу Электр Орталығы (ЖЭО) үшін көмірді газдандыру қондырғысын (БГҚ) құрудың техника-экономикалық негіздемесін зерттеу - бұл маңызды әрі күрделі процесс. Мұндай жобаның тиімділігін бағалау үшін бірнеше негізгі аспектілерді қарастыру қажет:

### 1) Техникалық аспектілер:

- Көмір газдандыру технологиясы: Өртүрлі газдандыру әдістерінің тиімділігін, олардың жұмыс принциптерін және ЖЭО жағдайында қолданудың мүмкіндігін зерттеу.

- Қондырғының қуаты мен өнімділігі: ЖЭО-ның энергия қажеттіліктеріне сәйкес келетін БГҚ қуатын анықтау.

- Қондырғының интеграциясы: Газдандыру қондырғысын ЖЭО-ның бар инфрақұрылымына қосу мүмкіндігін және оның жұмысын үйлестіруді бағалау.

- оршаған ортаға әсері: Газдандыру процесінің экологиялық әсерін, оның ішінде шығарындыларды бақылау және азайту шараларын қарастыру.

### 2) Экономикалық аспектілер:

- Жобаның құны: Қондырғыны жобалау, салу және іске қосу үшін қажетті бастапқы инвестицияларды есептеу.

- Эксплуатациялық шығындар: Қондырғыны пайдалану барысында пайда болатын үнемі шығындарды, оның ішінде отын шығындары, техникалық қызмет көрсету және жөндеу жұмыстарын бағалау.

- Қайтарым мерзімі: Жобаның инвестицияларын қанша уақыт ішінде қайтаруға болатынын анықтау.

- Энергия үнемдеу және тиімділік: Газдандыру қондырғысының көмірді жағуға қарағанда энергия өндіру тиімділігін арттыру әлеуетін зерттеу.

- Қаржылық талдау: Жобаның қаржылық көрсеткіштерін, оның ішінде таза қазіргі құнды (NPV), ішкі табыстылық мөлшерін (IRR) және пайда/шығын қатынасын есептеу.

### 3) Әлеуметтік аспектілер:

- Жұмыс орындарын құру: Қондырғының құрылуы мен жұмыс істеуі барысында жаңа жұмыс орындарының пайда болуын бағалау.

- Қоғамдық денсаулық және қауіпсіздік: Жобаның тұрғындардың денсаулығына және қауіпсіздігіне әсерін зерттеу.

- Әлеуметтік инфрақұрылымға әсері: Жобаның жергілікті инфрақұрылымға, оның ішінде көлік, білім беру және денсаулық сақтау жүйелеріне әсерін бағалау.

Жоғарыда аталған аспектілерді жан-жақты зерттеу арқылы Алматы қаласындағы ЖЭО үшін көмірді газдандыру қондырғысын құрудың техника-экономикалық негіздемесін жасауға болады. Бұл қадам жобаның тиімділігін, тұрақтылығын және орнықтылығын қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылады.

Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГҚ (Бу газдандыру қондырғысы) құрылуының негізгі міндеті мен мақсаты бірнеше маңызды аспектілерге негізделген:

*Мақсаты:*

1) Энергия тиімділігін арттыру. Көмірді газдандыру арқылы ЖЭО-ның жұмысында көмірді жағудан алынатын энергияның тиімділігін арттыру, бұл өз кезегінде жалпы энергия өндірісін жақсартуға көмектеседі.

2) Экологиялық таза энергия өндіру. Газдандыру процесі көмірдің толық жағылуын қамтамасыз етеді, бұл зиянды шығарындыларды, соның ішінде күкіртті газдар мен басқа да ластаушы заттарды азайтуға мүмкіндік береді.

3) Қалдықтарды азайту. Газдандыру барысында көмірдің жану өнімдері мен қалдықтары азаяды, бұл табиғи ресурстарды тиімді пайдалануға және қоршаған ортаға әсерді төмендетуге ықпал етеді.

4) Энергетикалық тәуелсіздікті қамтамасыз ету. ЖЭО-ның газдандыру қондырғысын құру арқылы жергілікті көмірді пайдалануды арттырып, сыртқы энергия көздеріне тәуелділікті азайту.

5) Жұмыс орындарын құру және әлеуметтік әсері. Жаңа қондырғының құрылысы мен жұмыс істеуі жергілікті деңгейде жаңа жұмыс орындарын құрып, әлеуметтік-экономикалық дамуды қолдауға мүмкіндік береді.

*Міндеттері:*

1) Газдандыру процесін оңтайландыру. Көмірді тиімді газдандыру технологияларын енгізу, оның ішінде ішкі айналым арқылы газды көбірек және тиімді алуға бағытталған процестерді зерттеу және дамыту.

2) Қоршаған ортаға әсерін төмендету. ЖЭО жұмысында экологиялық нормаларды сақтау және шығарындыларды азайту үшін газдандырудың экологиялық әсерін мұқият бағалау және қадағалау.

3) Қондырғының қаржылық және техникалық тиімділігін қамтамасыз ету. Жобаның техникалық және экономикалық параметрлерін талдап, оның құнын, қаржылық қайтарымдылығын және экономикалық тиімділігін қамтамасыз ету.

4) Құрылыс және іске қосу кезеңдерін жоспарлау. Қондырғының құрылысынан бастап оны іске қосуға дейінгі кезеңдерді егжей-тегжейлі жоспарлау және осы процестерді бақылау.

5) Энергия өндірудің тұрақтылығын қамтамасыз ету. ЖЭО-ның газдандыру қондырғысы арқылы энергия өндірісін үздіксіз қамтамасыз ету үшін қажетті жүйелерді оңтайлы түрде іске қосу және оларды басқару.

6) Жергілікті ресурстарды пайдалану. Алматы қаласында қолжетімді көмір ресурстарын тиімді пайдалану, бұл энергетикалық тәуелсіздікті арттыруға көмектеседі.

Жалпы, Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру қондырғысын құру жобасының мақсаты - энергетикалық тиімділікті арттыру, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету және экономикалық тұрғыдан тиімді шешімдер қабылдау.

Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГҚ құрылуының техника-экономикалық негіздемесін зерттеудің жолдары бірнеше кезеңдерден тұрады. Бұл зерттеу жобаның тиімділігін, орындылығын және экологиялық қауіпсіздігін бағалауға көмектеседі. Міне, зерттеудің негізгі жолдары:

1) Бастапқы деректерді жинау және талдау

ЖЭО жұмысының ағымдағы жағдайы: ЖЭО-ның қазіргі жұмысын, оның энергия өндіру қуатын, көмірді пайдалану және экологиялық шығарындыларды қарастыру қажет. Қазіргі техникалық жағдайды анықтау газдандыру қондырғысының қажет екенін немесе оның тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

- Көмір сапасы мен оның құрамы: Көмірдің түрі мен сапасын зерттеу, оның газдандыру процесіне қаншалықты сай келетіні туралы ақпарат жинау. Бұл зерттеу қондырғының техникалық сипаттамаларын анықтауға көмектеседі.

2) Техникалық зерттеулер

Газдандыру технологияларының таңдауы: Өртүрлі газдандыру әдістерін зерттеп, олардың тиімділігін бағалау қажет. Бұл кезеңде газдандыру қондырғысының жұмыс істеу технологиясы, оның энергия өндіру мүмкіндіктері және ЖЭО-ның қазіргі қуатымен үйлесімділігі анықталады.

ЖЭО-ның өндірістік жүйесіне интеграция: Газдандыру қондырғысын ЖЭО-ның ішкі өндірістік жүйесіне қалай енгізуге болатынын және оның жүйелермен үйлесімділігін зерттеу. Бұл ЖЭО-ның жалпы жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Қондырғының жобалық қуатын есептеу: Газдандыру қондырғысының қуатын ЖЭО-ның энергия өндіру қажеттіліктерімен сәйкестендіріп, қуатты оңтайлы таңдауды қамтамасыз ету.

3) Экологиялық әсерді бағалау

Қоршаған ортаға әсері: Газдандыру технологиясының экологиялық әсерін бағалау, шығарындыларды азайту әлеуеті мен ауа сапасын бақылау әдістерін қарастыру. ЖЭО-ның жұмысындағы экологиялық көрсеткіштерді жақсарту үшін қажетті шараларды анықтау.

Энергетикалық тиімділік және ластаушы заттардың азаюы: Газдандыру арқылы шығарылатын зиянды заттардың (мысалы,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) азаюы және олардың экологиялық әсерін төмендету.

Алматы қаласындағы ЖЭО ішкі айналыммен көмір газдандыру БГҚ құрылуының техника-экономикалық негіздемесін зерттеу үшін осы қадамдарды орындау өте маңызды. Бұл қадамдар жобаның тиімділігін, экологиялық әсерін және қаржылық тұрғыдан орындылығын анықтауға көмектеседі, сондай-ақ жобаның жүзеге асырылуын сәтті етуге мүмкіндік береді.

## **1 Бу және газ турбиналық қондырғылар және көмірді газдандыру**

### **1.1 Газ қондырғылары нарығын дамытудың әлемдік тенденциялары**

Газ қондырғылары нарығын дамытудың әлемдік тенденциялары соңғы жылдары әлемдік экономика мен технологиялық дамуға байланысты айтарлықтай өзгерістерге ұшырады. Бұл нарықтың негізгі трендтері экологиялық талаптар, жаңа технологиялардың енгізілуі және энергия тиімділігі мен қауіпсіздік мәселелерін қамтиды. Міне, қазіргі әлемдегі газ қондырғылары нарығының негізгі даму тенденциялары:

#### **1) Энергетикалық тиімділіктің артуы**

- Жоғары тиімді газ қондырғылары: Газ қондырғыларында энергияның тиімділігін арттыруға бағытталған технологиялар үлкен сұранысқа ие. Бұл жаңартылған және жетілдірілген газ турбиналары мен қондырғыларын қамтиды, олар энергия шығындарын азайтады және шығарындыларды төмендетеді.

- Модульдік және жинақы қондырғылар: Жинақы әрі жылдам орнатылатын газ қондырғылары өнеркәсіпте жиі пайдаланылады. Мұндай қондырғылар энергия тиімділігін арттыруға және оларды жеңіл тасымалдауға мүмкіндік береді.

#### **2) Төмен көміртекті және экологиялық таза технологиялар**

Жасыл энергия көздерімен біріктіру: Газ қондырғыларын жасыл энергетикамен (күн, жел) біріктіру үрдісі өсіп келеді. Газ қондырғылары жаңартылатын энергия көздерімен біріктірілгенде тұрақты энергия жүйелерін қалыптастыруға ықпал етеді.

Көміртегі шығарындыларын азайту: Ғаламдық жылыну мәселесімен күресу үшін газ қондырғылары көміртегі шығарындыларын азайту технологияларын енгізуге бағытталған. Бұл қатты отынға қарағанда табиғи газдың экологиялық тұрғыдан тиімдірек болуына мүмкіндік береді. Сонымен қатар, көміртегі ұстап қалу технологиялары да танымал болуда.

#### **3) Цифрландыру және автоматтандыру**

Цифрлық бақылау жүйелері: Газ қондырғыларын басқару және бақылау жүйелерін цифрландыру. Бұл технологиялар қондырғылардың жұмысын мониторингтеуге, олардың тиімділігін арттыруға және ақауларды уақытында анықтауға мүмкіндік береді.

Қашықтан басқару және болжамды техникалық қызмет көрсету: IoT (Интернет заттары) технологияларын пайдалана отырып, қондырғылардың жұмысы туралы нақты уақыттағы деректерді жинау және техникалық қызмет көрсету жұмыстарының автоматтандырылуы дамып келеді.

#### **4) Гибридті энергия жүйелерінің таралуы**

Гибридті газ және жаңартылатын энергия көздері жүйелері: Газ қондырғылары мен жаңартылатын энергия көздерін біріктіру арқылы тиімді

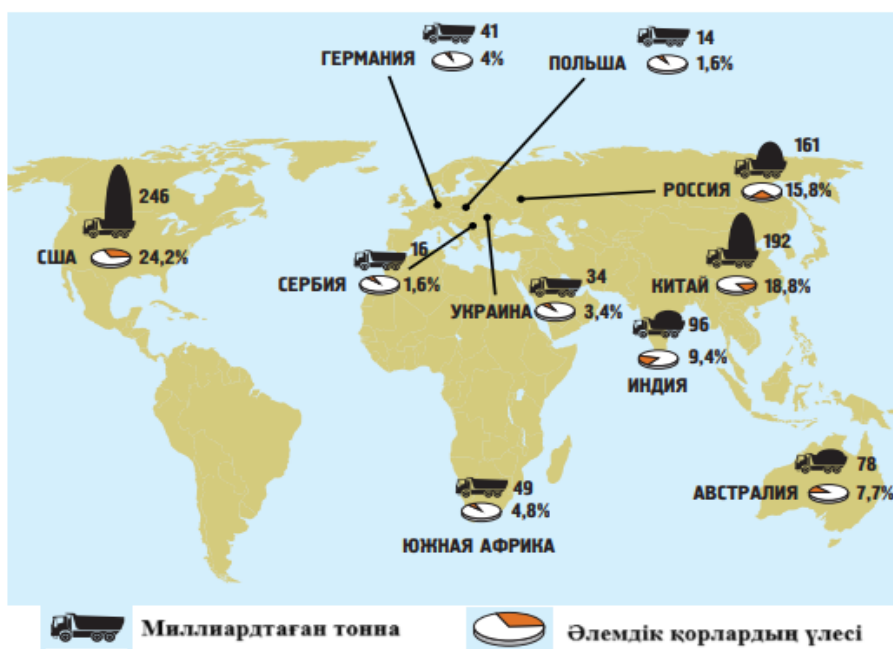
және тұрақты энергия өндіру жүйелері жасалуда. Мысалы, газ турбиналары мен жел немесе күн энергиясы бір жүйеге интеграцияланады.

Батареялық энергия сақтау жүйелері: Газ қондырғыларын батареялармен бірге пайдалану гибриді энергия жүйелерінің бір бөлігі ретінде көбірек танымал болуда. Мұндай жүйелер электр энергиясының тұрақтылығын қамтамасыз етеді және сұранысқа байланысты өндіріс көлемін реттеуге мүмкіндік береді [1].

#### 5) Көмірсутек газдарын қайта өңдеу және пайдалану

Сұйытылған табиғи газ (LNG): Сұйытылған табиғи газдың (LNG) өндірісі мен қолдануы артып келеді, себебі бұл технология энергетикалық қажеттіліктерді қанағаттандыруда тиімді әрі экологиялық таза шешім ретінде қарастырылады. LNG инфрақұрылымы дамып, газдың тасымалы мен саудасы кеңейеді.

Көміртегі ұстау және сақтау (CCS): Газ қондырғыларының көміртегі ұстау және сақтау технологияларын қолдануы экологиялық талаптарды орындау және ауаға ластаушы заттардың шығуын азайту мақсатында маңызды болып табылады.



1.1 – сурет- Дүниежүзілік көмір қорының географиясы

#### 6) Ауа сапасын бақылау және шығарындыларды төмендету

- Жаңа сүзгілеу технологиялары: Газ қондырғыларындағы ауа шығарындыларын бақылау және төмендету үшін жаңа сүзгілеу жүйелері мен катализаторларды енгізу маңызды. Бұл экологиялық нормаларды сақтау үшін және ауа сапасын жақсарту үшін қажетті шаралар болып табылады.

- Жақсартылған бу генераторлары мен газ турбиналары: Газ қондырғыларында шығарындыларды азайту үшін газ турбиналарының

тиімділігі мен экологиялық көрсеткіштерін арттыруға бағытталған жаңа технологиялар енгізілуде.

#### 7) Жаңа нарықтар мен географиялық кеңейту

Азия және Африка нарықтарының дамуы: Газ қондырғыларына деген сұраныс дамушы нарықтарда, әсіресе Азия мен Африкада, артып келеді. Бұл аймақтарда энергияға сұраныс жоғары, әрі табиғи газдың экологиялық артықшылықтары мен тиімділігі ескеріледі [2].

Энергетикалық тәуелсіздікке ұмтылу: Әсіресе Еуропада және АҚШ-та энергетикалық тәуелсіздікке ұмтылу үрдісі байқалады. Газ қондырғыларын түрлі энергия көздерімен интеграциялау арқылы жергілікті деңгейде энергия өндірудің көлемін арттыруға бағытталған жобалар көбейіп келеді.

#### 8) Жергілікті газ қондырғылары мен микрогенерация

Микрогенерация жүйелері: Үй шаруашылығында немесе шағын кәсіпорындарда газ қондырғыларының қолданылуы өсіп келеді. Бұл бағыттың дамуымен энергияны өзінде өндіру және пайдаланушыларға жеткен энергияны бақылау мүмкіндігі артады.

Тәуелсіз газ қондырғылары: Жергілікті деңгейде, мысалы, ауылдарда немесе қашықтағы аймақтарда газ қондырғыларының орнатылуының артуы байқалады. Бұл жеке тұтынушылар мен шағын кәсіпорындар үшін энергияның тәуелсіз көзін қамтамасыз етеді.

Газ қондырғылары нарығының әлемдік тенденциялары экологиялық талаптар мен жаңа технологиялардың енгізілуі арқылы даму үстінде. Энергия тиімділігін арттыру, экологиялық таза технологияларды қолдану, цифрландыру және автоматтандыру үрдістері нарықтың негізгі қозғаушы күштері болып табылады. Сондай-ақ, жаңартылатын энергия көздерімен интеграция және экологиялық әсерді төмендету сияқты факторлар да нарықтың болашақ дамуында маңызды рөл атқарады.

Ең қуатты газ турбиналары жоғары тиімділік пен үлкен энергия өндіру мүмкіндігімен ерекшеленеді. Бұл турбиналар көбінесе электр станциялары мен өнеркәсіптік қондырғыларда қолданылады. Газ турбиналарының негізгі сипаттамалары төмендегі факторлармен анықталады:

1) Қуаты (Power Output). Қуат газ турбиналарының ең маңызды сипаттамасы болып табылады.

Қазіргі таңда ең қуатты газ турбиналарының қуаты бірнеше жүз мегаваттқа дейін жетеді. Мысалы, GE 9HA.02 газ турбинасы 510 МВт қуатпен жұмыс істей алады, ал Siemens SGT-8000H моделі 400-450 МВт қуат өндіре алады.

2) Жұмыс тиімділігі (Efficiency). Газ турбинасының тиімділігі оның қуатына қатысты қаншалықты көп энергия өндіретініне байланысты. Жоғары тиімділік дегеніміз - отынның аз мөлшерімен көп энергия өндіру.

Қазіргі ең қуатты газ турбиналарының жұмыс тиімділігі 60%-дан жоғары болуы мүмкін, ал сұйытылған табиғи газ (LNG) немесе басқа көмірсутектерді қолдану кезінде бұл көрсеткіш одан да жоғары болуы мүмкін.

3) Жылу тиімділігі (Heat Rate) - бұл турбина арқылы өндіретін энергияның көлемі мен тұтынатын отынның энергиясы арасындағы қатынас. Жылу тиімділігі жоғары болған сайын, газ турбинасының тиімділігі де жоғары болады.

Қазіргі таңда газ турбиналарының жылу тиімділігі 6,000-7,000 ккал/кВт·сағ дейін төмендеуі мүмкін.

4) Жұмыс температурасы (Operating Temperature). Газ турбиналарының жұмысы үшін өте жоғары температурада жұмыс істеу мүмкіндігі маңызды. Бұл тиімділіктің артуына және қуаттың жоғарлауына ықпал етеді. Ең қуатты газ турбиналарының жұмыс температурасы 1,500 °C-тан жоғары болуы мүмкін. Мысалы, Siemens SGT-8000H моделі жұмыс температурасы 1,600°C дейін жетеді.

5) Жылу кеңейтімі (Thermal Expansion). Газ турбиналарының жұмысындағы жылу кеңейтімі мен тарылуы құрылғының ұзақ мерзімді жұмысын және тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Жоғары температура мен қысым деңгейлерінде жұмыс істейтін турбиналарда материалдардың жылу кеңейтіміне қарсы тұру қабілеті маңызды.

6) Қыздыру және салқындату жүйесі (Cooling and Heating Systems). Газ турбиналарының тиімді жұмыс істеуі үшін олардың салқындату жүйелері өте маңызды. Қазіргі заманғы турбиналар көбінесе қышқыл газдарды шығару, суық ауа кіргізу, немесе сұйық салқындату жүйелері арқылы қосымша энергия үнемдеуге мүмкіндік береді. Қосымша салқындату әдістері, мысалы, ауаны салқындату (интеркулер немесе ауа салқындатқыштар арқылы) тиімділікті арттыру үшін қолданылады.

7) Кіріс және шығыс газ температуралары (Inlet/Outlet Gas Temperature). Кіріс және шығыс газ температуралары турбина жұмысындағы маңызды көрсеткіштер болып табылады. Жоғары температураның өсуі жұмыстың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Газ турбинасының кіріс температурасы әдетте 1,200-1,500°C аралығында болуы мүмкін.

8) Шу деңгейі (Noise Level). Ең қуатты газ турбиналары әдетте жоғары шу деңгейіне ие, бірақ қазіргі заманғы модельдерде дыбысты азайту технологиялары қолданылады. Шу деңгейі жиі 85-95 децибел аралығында болады, бірақ жаңартылған турбиналарда бұл көрсеткіш төмендеуі мүмкін.

9) Жұмыс циклі (Operating Cycle). Газ турбинасының жұмыс циклі оның тиімділігіне және ұзақ мерзімді жұмыс қабілеттілігіне әсер етеді. Газ турбинасы жұмыс циклі арқылы энергияны өндіру процесін реттейді. Газ турбиналарының көпшілігі комбинированный цикл негізінде жұмыс істейді, яғни газ турбинасы мен бу турбинасы бір қондырғыда біріктірілген. Бұл тиімділікті арттырып, отын шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

10) Қолданылатын отын түрлері. Газ турбиналары негізінен табиғи газды пайдаланады, бірақ олар сондай-ақ сұйытылған табиғи газ (LNG), көміртегі тотығын және мұнай өнімдерін пайдалануы мүмкін.

Қазіргі газ турбиналары гибриді жүйелерде жұмыс істей алады, яғни олар әр түрлі отындармен жұмыс істей алады, бұл оларды икемді және ыңғайлы етеді.

11) Құрылыс және жөндеу жұмыстары. Газ турбиналарының құрылысы күрделі және арнайы техникалық талаптарды қажет етеді. Олар жоғары температураға төзімді материалдармен, әсіресе қорғаныс қаптамалары мен қатты жабдықтармен жабдықталады. Сонымен қатар, қазіргі газ турбиналарының көпшілігінде техникалық қызмет көрсету және мониторинг мүмкіндіктері бар, бұл олардың жұмыс тиімділігін және ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етеді.

12) Модельдер мен өндірушілер. GE (General Electric), Siemens және Mitsubishi Hitachi Power Systems секілді әлемдік көшбасшы компаниялар ең қуатты газ турбиналарын шығарады. Мысалы, GE 9HA турбинасы – қазіргі таңда әлемдегі ең қуатты газ турбиналарының бірі, ол 510 МВт қуатқа дейін жетеді. Siemens SGT-8000H – тиімділігі жоғары және қуаты 400-450 МВт аралығында болатын тағы бір әйгілі турбина.

Ең қуатты газ турбиналары жоғары тиімділік, жоғары температурада жұмыс істеу мүмкіндігі, үлкен қуат пен экологиялық тиімділікті ұсынады. Бұл турбиналар әлемнің энергетикалық инфрақұрылымында маңызды рөл атқарады және болашақта оларды одан әрі жақсарту мен жетілдіру жалғасатын болады [3].

## 1.2 Көмірді газдандыру

Көмірді газдандыру - бұл көмірді химиялық өңдеу процесі, оның көмірсутекті газдарға (көміртек тотығы (CO), метан (CH<sub>4</sub>), сутегі (H<sub>2</sub>) және басқа да газдар) айналдыру үшін жоғары температура мен қысым жағдайында оттегі мен бу немесе басқа реагенттермен әрекеттесетін технология. Газдандыру көмірді пайдаланудың тиімділігін арттырады және оны экологиялық таза энергетикада қолдануға мүмкіндік береді.

Көмірді газдандыру процесінің негізгі кезеңдері:

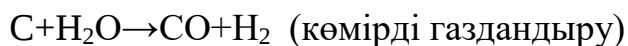
1) Көмірді жүктеу және алдын ала өңдеу: Көмірді газдандыру алдында оны ұсақтау немесе кеуіп кету сияқты механикалық өңдеуден өткізеді. Бұл көмірдің газдандыру реакциясына жақсы дайын болуына мүмкіндік береді.

2) Газдандыру реакциясы: Көмір жоғары температура мен қысым әсерінен газдандыру қондырғысында оттегі мен бу сияқты реагенттермен әрекеттеседі. Бұл химиялық реакциялар барысында көмірдің органикалық компоненттері (көміртегі, сутегі) газ тәрізді заттарға, әсіресе көміртек тотығы (CO), метан (CH<sub>4</sub>), сутегі (H<sub>2</sub>) және азот (N<sub>2</sub>) шығарады.

Реакцияның жалпы теңдеуі:



немесе



3) Газды тазалау: Газдандыру нәтижесінде алынған газдар ластаушы заттардан (мысалы, күкіртті қосылыстар, ауыр металдар, шаң) тазартылуы керек. Бұл үшін әртүрлі сүзгілеу, катализаторлар мен химиялық реакторлар қолданылады.

4) Газды пайдалану: Газдандырылған көмірден алынған газ түрлі мақсаттарда қолданылады, оның ішінде электр энергиясын өндіру, химиялық өнеркәсіпте шикізат ретінде пайдалану (мысалы, аммиак немесе метанол өндіру), сондай-ақ отын ретінде көлік саласында да қолданылуы мүмкін.

Көмірді газдандырудың түрлері:

5) Жоғары қысыммен газдандыру: Бұл әдіс жоғары температура мен қысым жағдайында жүзеге асады, ол газдандыру процесін жылдамдатады және газдың құрамын жоғары сапалы етіп жасауға мүмкіндік береді.

6) Қысымсыз газдандыру: Бұл әдіс салыстырмалы түрде төмен температура мен қысымда іске асырылады, бірақ оның тиімділігі жоғары қысыммен газдандыруға қарағанда төменірек болуы мүмкін.

7) Жылу мен оттегінің әсерінен газдандыру: Бұл әдіс көмірдің оттегі мен жоғары температурадағы реакцияларын пайдаланады. Бұл процесстің басты ерекшелігі — жану мен газдандырудың бірге жүруі.

Көмірді газдандырудың артықшылықтары:

- Көмірдің тиімді пайдалану мүмкіндігі: Газдандырылған көмір табиғи газға жақын қасиеттерге ие болып, оны энергия өндіруде не химиялық өндірісте қолдануға болады.

- Көмірдің экологиялық жағынан таза пайдаланылуы: Газдандыру арқылы көмірді тиімді жанып, қоршаған ортаға зиянды шығарындыларды азайтуға болады.

- Энергия өндірудің тұрақтылығы: Газдандырылған көмірден алынған газ энергия өндіруде тиімдірек болып табылады және энергия жүйесін тұрақты етіп жасауға мүмкіндік береді.

Көмірді газдандырудың кемшіліктері:

- Қымбат жабдықтар мен технологиялар: Газдандыру қондырғылары мен қажетті құрылғылардың жоғары құны бұл технологияның тиімділігін азайтуы мүмкін.

- Газдың құрамын тазарту қажеттілігі: Газдандырылған көмірден алынған газдардың құрамында ластаушы заттар болуы мүмкін, оларды тазалау үшін қосымша шығындар қажет.

- Технологияның жоғары энергия тұтынуы: Газдандыру процесі үшін жоғары температура мен қысым талап етіледі, бұл энергия тұтынуды арттырады.

Көмірді газдандыру - бұл көмірді тиімді және экологиялық таза түрде пайдалануға мүмкіндік беретін технология. Ол энергетика саласында көмірден алынатын энергияның тиімділігін арттырып, экологиялық стандарттарға сай болуға мүмкіндік береді.

Көмірді газдандыру - бұл көмірді химиялық өңдеу процесі, онда көмірдің органикалық компоненттері оттегі немесе бу сияқты реагенттермен әрекеттесіп, газ тәрізді өнімдерге айналады. Газдандырудың бірнеше негізгі әдістері бар, олар әртүрлі реакция шарттары мен техникалық шешімдерге негізделеді. Көмірді газдандырудың басты жолдарын төменде қарастырайық:

1) Өткізгіш газдандыру (Fixed-Bed Gasification). Бұл әдіс көмірді қабаттап орналастырып, оның үстінен реагенттер (оттегі, бу, ауа) жіберу арқылы жүзеге асырылады. Газдандыру процесі осы қабаттың ішінде жүреді. Көмірдің жоғары температураға дейін қыздырылуы нәтижесінде химиялық реакциялар өтеді.

*Артықшылықтары:*

- Қарапайым құрылым, әрі қолданыста оңай.
- Үлкен мөлшерде көмірді өңдеуге мүмкіндік береді.

*Кемшіліктері:*

- Қондырғының өнімділігі салыстырмалы түрде төмен.
- Көмірдің жүктелуін және өңделуін тұрақты бақылау қажет.

2) Құйылған қабаттағы газдандыру (Fluidized-Bed Gasification). Бұл әдісте көмірді ұсақтап, оны ауа немесе бу сияқты газдардың ағынымен араластырады. Нәтижесінде көмір бөлшектері сұйық қабаттың ішінде қалқып жүреді, және осы күйде газдандыру реакциялары өтеді.

*Артықшылықтары:*

- Процесс тұрақты және тиімді.
- Қондырғының икемділігі жоғары (әртүрлі көмірлермен жұмыс істеу мүмкіндігі).
- Технологияның тиімділігі жоғары, жұмыс жағдайын оңай бақылауға болады.

*Кемшіліктері:*

- Қондырғының құрылысы күрделі.
- Кейде қондырғының тиімділігі төмен көмірлермен жұмыс істегенде азаяды.

3) Роторлы реактордағы газдандыру (Entrained-Flow Gasification). Бұл әдіс бойынша көмір өте жоғары температурада оттегі мен бу ағынымен тікелей реакцияға түседі. Көмір бөлшектері реакторда жоғары жылдамдықпен ағып, газдандыру процесі бірнеше секунд ішінде өтеді.

*Артықшылықтары:*

- Газдандыру процесі тез жүреді, сондықтан өндіріс жоғары өнімділікпен жүзеге асады.
- Газдың құрамында күкірт пен азоттың аз болуына ықпал етеді.
- Газдандыру өнімдерінің сапасы жоғары.

*Кемшіліктері:*

- Қондырғының жоғары энергия тұтынуы және күрделілігі.
- Қондырғыны үнемі дұрыс күйде ұстап тұру қиын болуы мүмкін.

4) Жоғары қысымды газдандыру (High-Pressure Gasification). Бұл әдіс жоғары қысым жағдайында жүзеге асырылады. Көмір және газдандыру

агенті (оттегі, бу) жоғары қысымда әрекеттеседі. Бұл процесс көмірді тиімдірек газдандыруға және газды сапалы етуге мүмкіндік береді.

*Артықшылықтары:*

- Газдандыру процесі жоғары тиімділікте жүреді.
- Газдың жылу мен қысымға байланысты шығарындылары азаяды.

*Кемшіліктері:*

- Қондырғының күрделілігі мен жоғары құны.
- Қысымның жоғары болуы жұмыс жағдайын қиындатуы мүмкін.

5) Бу газдандыру (Steam Gasification). Бұл әдіс көмірді жоғары температурада және бу мен оттегінің қатысуымен газдандырады. Бұл реакция көмір мен бу арасындағы химиялық процестер нәтижесінде көміртек тотығы (CO), сутегі (H<sub>2</sub>) және метан (CH<sub>4</sub>) сияқты газдарды шығарады.

*Артықшылықтары:*

- Көмірдің газдандырудан кейін алынатын газдар, әсіресе метан мен сутегі, химиялық өндіріс үшін пайдалы.
- Энергияның тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

*Кемшіліктері:*

- Жоғары температура мен бу қысымының қажеттілігі.
- Қондырғыда отын шығыны мен бастапқы құнының жоғары болуы мүмкін.

6) Оттегімен газдандыру (Oxygen-Blown Gasification). Бұл әдіс көмірді оттегінің көмегімен газдандыру процесін жүзеге асырады. Оттегі көмірмен тікелей әрекеттесіп, газдандыру реакциясын күшейтеді. Бұл әдіс көбінесе төмен температуралы газдар алу үшін қолданылады.

*Артықшылықтары:*

- Жоғары температура мен тиімді газдандыру процесі.
- Газды жылдам алу мүмкіндігі.

*Кемшіліктері:*

- Оттегінің жоғары шығыны және қондырғының жоғары құны.
- Оттегінің дұрыс мөлшерде болуы қажет.

7) Микротолқынды газдандыру (Microwave Gasification). Бұл әдіс микротолқындар арқылы көмірдің молекулаларын қыздырып, газдандыру реакциясын іске қосады. Микротолқындар көмірдің ішкі құрылымына әсер етіп, көмірдің газдандыру реакциясына бейім болуына көмектеседі.

*Артықшылықтары:*

- Төмен температурада жұмыс істеуге мүмкіндік береді.
- Энергияны үнемдеуге ықпал етеді.

*Кемшіліктері:*

- Технология әлі толық дамымаған және сынақ кезеңінде.
- Өндірістік масштабта қолдану қиын болуы мүмкін.

8) Каталитикалық газдандыру (Catalytic Gasification). Бұл әдіс газдандыру процесін катализаторлар арқылы тездетуге бағытталған. Катализаторлар реакцияның жылдамдығын арттырып, газдың құрамын жақсартады.

*Артықшылықтары:*

- Газдың құрамын жоғары сапалы ету.
- Төмен температурада жұмыс істей алады.

*Кемшіліктері:*

- Қымбат катализаторларды қолдану қажеттілігі.
- Катализаторлар белгілі бір уақыттан кейін бұзылуы мүмкін.

Көмірді газдандыру - бұл көмірді тиімді және экологиялық таза пайдалану үшін маңызды процесс. Әр түрлі әдістердің өз артықшылықтары мен кемшіліктері бар, сондықтан таңдау кезінде газдандырудың тиімділігі мен қажеттіліктері, сондай-ақ экономикалық факторлар ескеріледі. Ең тиімді әдіс ретінде қазіргі уақытта жоғары қысым мен температурада жұмыс істейтін газдандыру технологиялары танымал, себебі олар көмірден алынатын газдардың сапасын жақсартуға мүмкіндік береді.

Кіріс параметрлерінің ішінде тек бір параметрдің әсері зерттеледі - газдандыру температурасы. Ол белгілі бір диапазонда орнатылады: 600-1000 °C. Төменгі температура шегі жанудың тиімділігі мен тұрақтылығымен анықталады. Ал реакция кеңістігіндегі жоғары температура отынның минералдық бөлігінің балқуына себеп болуы мүмкін, бұл жану құрылғысының қожына және отын бөлшектерінің жану жылдамдығының төмендеуіне әкелуі мүмкін [4].

Қатты отынды ауа оттегі, су буы, көмірқышқыл газы және сутегі ортасында жоғары температурада өңдеу кезінде отынның органикалық компоненттері толығымен газ тәрізді өнімдерге айналады. Көмірді газдандырудың негізгі бағыттары және өнімдердің құрамы 1.2 - суретте көрсетілген.

Тұндырғыш көмірді өңдеу кезінде қиындықтар туындауы мүмкін, оларды жою үшін арнайы құрылғылар немесе газдандыру процесіне арналған арнайы схемалар қажет, мысалы, сұйық қабатта газдандыру. Бұл жағдайда газ генераторына отынның үздіксіз берілуі мүмкін, ал жақсы араластыру жоғары жылу беруді қамтамасыз етеді, бұл бүкіл қабатта температураның біркелкі таралуына әкеледі [5].



1.2 – сурет- Көмірді газдандыру әдістері

Жақсы жылу берудің арқасында біз температураны тез және оңай реттей аламыз. Максималды мүмкін болатын реакция температурасы бастапқы отын құрамындағы күлдің балқу температурасымен шектеледі. Бұл процесс негізінен қоңыр көмірлер мен жоғары реактивті жас тас көмірлер үшін қолайлы.

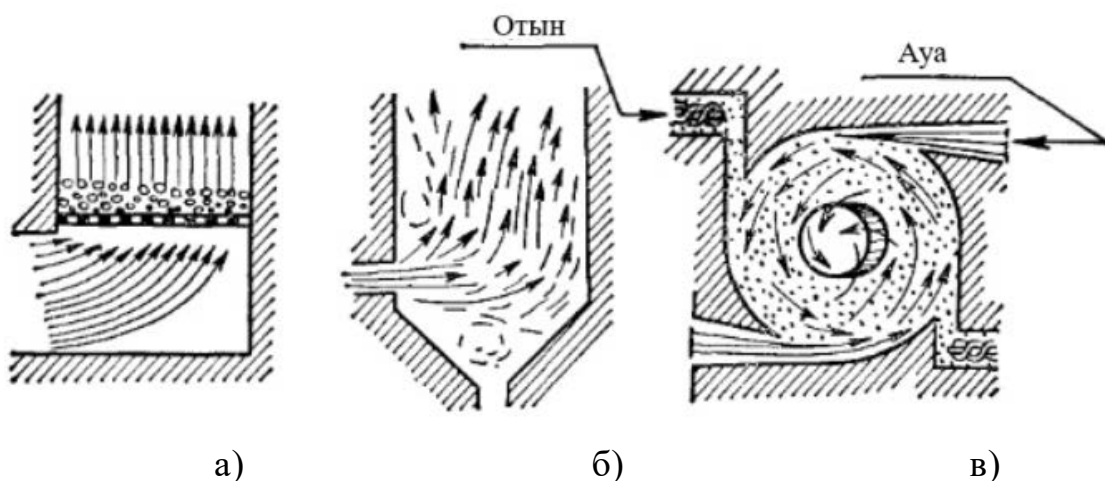
### 1.3 Қазандық пештерде отынды жағудың қолданыстағы схемалары

Жану құрылғысы немесе оттық қазандықтың негізгі элементі болып табылатын отын оның құрамындағы жылуды шығару және ең жоғары температурада жану өнімдерін алу үшін отынды жағуға арналған.

Бұл ретте пештердің түрлері жылуды жану аймағынан қазандықтың қоршаған суық қыздыру беттеріне радиация арқылы беретін жылу алмасу құрылғысы, сондай-ақ қатты отынды жағу кезінде ошақты қалдықтардың бір бөлігін ұстау және жою құрылғысы ретінде қызмет етеді [6].

Жану құрылғысы немесе оттық қазандықтың негізгі элементі болып табылатын отын оның құрамындағы жылуды шығару және ең жоғары температурада жану өнімдерін алу үшін қолданылатын маңызды компонент болып табылады. Оттық қазандықтың жұмысында отынның жану қасиеттері өте маңызды, себебі ол жылу энергиясын алу процесінің тиімділігін және экологиялық қауіпсіздігін анықтайды.

Қазіргі қазандық қондырғыларында әдетте қатты отынды жағудың үш негізгі әдісі қолданылады (1.3-сурет): қабат, алау, құйынды.



а - қабат, б - алау, в – құйынды

1.3 – сурет- Отынның жану процестерінің схемалары

Жанармай жағу әдісіне сәйкес жану құрылғылары қабат пен камераға бөлінеді. Қабатты от жағуға арналған қораптарда қатты кесек отын қабатта жағылады, камералық оттық жәшіктерде – газ, сұйық және шаң тәрізді отын аспалы күйде жағылады.

*Отынның жану процесі:*

1) Жану процесінің негіздері: Отынның жануы - бұл химиялық реакция, онда оттегі отынмен әрекеттесіп, оның құрамындағы көміртегі мен сутекті оксидтерге айналдырады. Бұл процесс кезінде жылу энергиясы бөлінеді. Жану өнімдері, негізінен, көмірқышқыл газы ( $\text{CO}_2$ ), су буы ( $\text{H}_2\text{O}$ ), азот оксидтері ( $\text{NO}_x$ ), күкірт диоксиді ( $\text{SO}_2$ ) және басқа да қоспалар болады.

2) Жану температурасы: Отынның дұрыс жануы үшін жоғары температура қажет. Егер температура төмен болса, толық жану болмайды, нәтижесінде энергияның жоғалуы және ластаушы газдардың көп шығуы мүмкін. Жоғары температурада отынның құрамындағы барлық элементтер толық түрде жануға ұмтылады, бұл жоғары жылу шығарумен бірге зиянды шығарындылардың (мысалы,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ) азаюына әкеледі.

3) Отынның құрамы мен қасиеттері: Отынның химиялық құрамы жану процесінің тиімділігін айқындайды. Отынның көміртегі, сутегі, азот, күкірт және басқа элементтердің қатынасы оның жану температурасы мен өнімдерін анықтайды. Мысалы, көмір құрамындағы күкірттің көп болуы күкірт диоксидінің ( $\text{SO}_2$ ) түзілуіне және экологиялық зиянды шығарындылардың артуына әкеледі.

4) Жану құрылғысының (оттықтың) рөлі: Оттық қазандықта отынның тиімді және толық жануын қамтамасыз ету үшін жану құрылғысы ерекше маңызды. Оттық қазандықта отынның мөлшері мен ауа ағындарының дұрыс үйлесуі қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, ауа мен отынның арақатынасы, жану температурасы және оттықтың құрылымдық сипаттамалары жану тиімділігіне тікелей әсер етеді.

*Оттық қазандықтың негізгі элементтері:*

5) Оттық: Отынның жағылу процесін жүзеге асыратын құрылғы. Оттықтың жұмысы отын мен ауаның дұрыс арақатынасын қамтамасыз ету арқылы толық жануды қамтамасыз етеді. Бұл жерде оттықтың конструкциясы мен оның ауа ағынының тиімділігі өте маңызды.

6) Жану камерасы: Бұл оттықта отынның толық жануы үшін қажетті жоғары температура мен уақытты қамтамасыз ететін кеңістік. Жану камерасының көлемі мен геометриясы отынның толық жануына ықпал етеді.

7) Түтін газдарын шығару жүйесі: Жанудан кейінгі түтін газдарын қауіпсіз түрде шығару үшін қазандықта арнайы түтін газдарын шығару жүйесі болады. Бұл жүйе арқылы зиянды газдардан арылту үшін фильтрация мен тазарту процестері жүзеге асырылады.

8) Жылу алмастырғыш: Жану процесінен алынған жылу энергиясын пайдалану үшін қазандықтарда жылу алмастырғыштар қолданылады. Бұл

жүйе жылуды сұйықтыққа немесе ауамен алмастырып, қазандықтың жұмыс тиімділігін арттырады.

Оттық қазандықтың тиімді жұмыс істеуі үшін отынның жану қасиеттері мен құрылғының элементтерінің үйлесімділігі маңызды. Отынның құрамындағы жылуды шығару және ең жоғары температурада жану өнімдерін алу үшін жану құрылғысының дұрыс жобалануы және жұмыс режимі қамтамасыз етілуі қажет. Сонымен қатар, экологиялық аспектілерді ескере отырып, отынның толық және тиімді жануын ұйымдастыру маңызды.

Жылу электр станцияларында жану процесінің экологиялық тиімділігін арттыруға ұмтылу және отынды барынша толық пайдалану бізді әр түрлі режимді және технологиялық шараларды (түтін газдарының рециркуляциясын ұйымдастыру, кезеңді жануға көшу және т.б.) пайдалана отырып, отынды жағу схемалары мен әдістерін үнемі жетілдіруге мәжбүр етеді. Пайдаланылатын көмір сапасының біртіндеп нашарлауына және жобалық емес отынға көшуіне байланысты отынның жануын оңтайландыру мәселелері әсіресе ұнтақ көмір қазандықтарында өткір болады [7].

Әдебиеттерде зиянды жану өнімдерінің шығарындыларын азайту мақсатында органикалық отынды жағудың жаңа схемалық шешімдерін қолдануға көп көңіл бөлінеді. Жану камерасының өнімділігі мен өлшемдерінің жоғарылауымен азот оксидтерінің шығуы артады. Сондықтан  $\text{NO}_x$  оксидінің төмен шығымдылығымен жоғары жылу қуатының жану камерасын құру міндеті өзекті болып табылады [41]. Ұнтақталған ірі көмір қазандықтарынан азот оксидтерінің шығарындыларының жоғарылауымен байланысты мәселені шешу үшін азот оксиді шығарындыларын азайтудың бірқатар әдістері ұсынылды.

Жылу электр станцияларында жану процесінің экологиялық тиімділігін арттыру және отынды толық пайдалану мақсатында қолданылатын шаралар мен технологиялар өте маңызды. Бұл шаралар атмосфераға шығарылатын зиянды заттардың мөлшерін азайтуға, энергияны тиімді пайдалануға және экологиялық жүктемені төмендетуге бағытталған. Түтін газдарының рециркуляциясы мен кезеңді жану сияқты технологиялық шешімдер жиі қолданылып келеді.

1) Түтін газдарының рециркуляциясы - бұл технология жану процесінің тиімділігін арттыру үшін пайдаланылатын әдіс. Түтін газдары қайтадан жану аймағына жіберіледі, бұл олардың толық жануына және энергияның тиімді пайдаланылуына мүмкіндік береді. Мұндай тәсілдер отынның жану температурасын және ауа қажеттілігін төмендетуге, сондай-ақ зиянды заттардың шығуын азайтуға септігін тигізеді.

2) Кезеңді жану - бұл әдіс жану процесін бірнеше кезеңге бөліп, әр кезеңде отынның толық жануын қамтамасыз етуге бағытталған. Бұл әдіс отынның толық күйіп кетуін және зиянды қалдықтардың азаюын

камтамасыз етеді. Сонымен қатар, кезеңді жану энергияның жоғары шығымдылығына және жылу тиімділігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

3) Жану схемалары мен әдістерін жетілдіру - жылу электр станцияларының тиімділігін арттыру үшін әр түрлі жану схемалары мен әдістері енгізіледі. Бұл әдістердің әрқайсысы өз кезегінде экологиялық көрсеткіштерді жақсартуға бағытталған және әртүрлі отын түрлеріне бейімделген болуы мүмкін.

Жоғарыда аталған шаралар жану процесінің экологиялық тиімділігін арттырып, энергия шығынын төмендетуге, сонымен қатар, атмосфералық ластануды азайтуға мүмкіндік береді. Жаңа технологиялар мен зерттеулердің арқасында бұл бағытта үлкен жетістіктерге жету мүмкіндігі бар.

Дұрыс айтасыз, жану камерасының өнімділігі мен өлшемдерінің жоғарылауы азот оксидтерінің ( $\text{NO}_x$ ) шығымының артуына әкеледі. Бұл, әсіресе, жоғары температура мен отынның толық жануын қамтамасыз ету мақсатында іске асырылатын процестерде маңызды мәселе болып табылады. Азот оксидтері атмосфераға шығарылатын зиянды заттардың бірі ретінде экологиялық мәселелер туындататындықтан,  $\text{NO}_x$  шығарындыларын азайту және тиімділікті арттыру бағытындағы жұмыстар өзекті болып табылады.

$\text{NO}_x$  шығарындыларын азайту тәсілдері:

4) Жану процесін оңтайландыру (қысым мен температураны бақылау): Жану камерасындағы температураның жоғарылауы мен отынның толық жануы  $\text{NO}_x$  түзілудің негізгі себебі болып табылады. Бұл процесті оңтайландыру арқылы, мысалы, температураны төмендетіп, отынды жандыру режимдерін басқару арқылы  $\text{NO}_x$  шығарындыларын азайтуға болады.

6) Жану аймағында отын мен ауаның арақатынасын реттеу: Жану камерасындағы ауа мен отынның арақатынасын бақылау және реттеу арқылы  $\text{NO}_x$  шығарындыларын төмендетуге болады. Артық ауа қолдану (жануды толықтыру) немесе отынның қаныққан күйде жануын қамтамасыз ету арқылы азот оксидтерінің түзілуі азаяды.

7) Түтін газдарын рециркуляциялау: Түтін газдарын жану камерасына қайтара енгізу әдісі де  $\text{NO}_x$  шығарындыларын төмендетуге ықпал етеді. Бұл әдіс газдардың құрамындағы температураны төмендетіп, азот оксидтерінің түзілуін тежейді.

8) Сұйық отын немесе газ тәрізді отынды қолдану: Сұйық және газ тәрізді отындардың құрамында азот оксидтерінің түзілуіне әсер ететін қоспалар аз болады. Сондықтан оларды қолдану  $\text{NO}_x$  шығарындыларын азайтуға көмектеседі.

9) Жану камерасының конструкциясын жақсарту: Камераның дизайнын өзгерту, мысалы, қосымша жану аймақтарын құру немесе газдың араласу сапасын жақсарту, жану процесін толықтай бақылауға

мүмкіндік береді. Бұл  $\text{NO}_x$  шығарындыларын азайтуға және жылу тиімділігін арттыруға әсер етеді.

10) Төмен температуралы жану технологиялары: Кейбір жаңа технологиялар, мысалы, төмен температуралы жану әдістері  $\text{NO}_x$  шығарындыларын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс жылу электр станцияларында экологиялық стандарттарға сәйкес келуге ықпал етеді.

Жоғары жылу қуаты мен жану камерасының өнімділігін арттыру кезінде  $\text{NO}_x$  шығарындыларының деңгейін бақылап, азайту үшін жоғарыда аталған әдістер мен технологияларды қолдану маңызды. Бұл, өз кезегінде, экологиялық талаптарға сәйкес болуды қамтамасыз етіп, ауа сапасын қорғауға көмектеседі. Жану процесін жетілдіру және жаңа әдістерді енгізу арқылы жану камераларының тиімділігін арттырып, зиянды заттардың шығарындыларын төмендетуге мүмкіндік бар [8].

Дұрыс айтасыз, жану камерасына жану өнімдерін рециркуляциялау (EGR - Exhaust Gas Recirculation) ұнтақталған көмір отынын жағу кезінде азот оксидтерінің ( $\text{NO}_x$ ) түзілуін азайтудың тиімді және кең таралған тәсілдерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс негізінен отынның жану процесін басқару арқылы  $\text{NO}_x$  шығарындыларын төмендетуге бағытталған.

Рециркуляциялау принципі:

Рециркуляцияланған түтін газдары жану камерасына қайта бағытталады. Бұл газдар бастапқыда жанғаннан кейін, оларда жоғары температура мен азот оксидтері көп болады. Алайда, рециркуляция процесі бірнеше маңызды әсер етеді:

1) Температураны төмендету: Жану камерасына түтін газдарын қайта жіберу арқылы жану аймағындағы температура төмендейді. Бұл азот оксидтерінің түзілуіне жауапты жоғары температураның алдын алады, өйткені  $\text{NO}_x$  негізінен жоғары температурада түзілетін газдар болып табылады.

2) Отын мен ауа арақатынасын басқару: Рециркуляциялау газдардың құрамында оттегінің мөлшерін азайтады, бұл жану процесінің толық еместігін және төмен температурада болуы мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Бұл өз кезегінде азот оксидтерінің түзілуін азайтады.

3) Отынның толық жануы: Түтін газдарының рециркуляциясы жану камерасындағы ауа мен отынның арақатынасын түзету арқылы отынның толық күйіп кетуін қамтамасыз етеді, яғни  $\text{NO}_x$  түзілуі азаяды. Бұл сонымен бірге энергияның тиімділігін арттыруға да көмектеседі.

4) Қышқылдықтың төмендеуі: Түтін газдары құрамында  $\text{CO}_2$  және су буы көп болғандықтан, жану процесі сәл қышқылдыққа ие болады, бұл да  $\text{NO}_x$  түзілуіне кедергі келтіреді.

Артықшылықтары:

-  $\text{NO}_x$  шығарындыларының азаюы: Рециркуляциялау процесі  $\text{NO}_x$  түзілуін төмендетуге үлкен ықпал етеді, себебі температура

төмендейді, бұл азот оксидтерінің қалыптасуына қажетті жоғары температураның алдын алады.

- Жанудың тиімділігі артады: Рециркуляциялау көмірді толық күйдіруге мүмкіндік береді, бұл жылу шығаруды ұлғайтады және отынның тиімділігін арттырады.

- Энергия тиімділігі: Жану өнімдерін қайта қолдану отынды қосымша жағу немесе басқа энергия көздерін қолданудан гөрі тиімдірек болып табылады.

Шектеулері:

- Рециркуляциялауға арналған газдардың көлемі: Жану өнімдерінің бір бөлігін қайта жіберу кезінде камераның көлемі мен жұмыс жағдайлары да ескерілуі тиіс. Өйткені, көп газды рециркуляциялау камераның тиімділігін төмендетіп, оны бұзуы мүмкін.

- Жоғары көлемдегі қатты бөлшектер: Рециркуляцияға кіретін түтін газдары қатты бөлшектер мен күкірт қосылыстарын қамтуы мүмкін. Бұл қосымша технологиялық шараларды қажет етеді, себебі қатты бөлшектер жану процесінде тағы да қалдықтардың түзілуіне себеп болуы мүмкін.

- Құрылымдық күрделілік: Рециркуляция жүйесінің жобалануы мен іске асырылуы қосымша техникалық күрделіліктер мен шығындарды талап етеді.

Ұнтақталған көмір отынын жағу кезінде жану өнімдерін рециркуляциялау -  $\text{NO}_x$  шығарындыларын азайту үшін тиімді әдіс болып табылады. Ол жану процесінің экологиялық тиімділігін арттырып, зиянды газдардың шығарылуын төмендетеді. Алайда, бұл әдіс оның жүзеге асырылуына қажетті қосымша құрал-жабдықтар мен технологиялық процестерді талап етеді.

## 2 Бу газ қондырғыларының (БГҚ) жылу схемасын сипаттау

### 2.1 Бу газ технологиясының негізгі принциптері

Жылу электр станцияларында қазбалы отын ресурстарының шектелуіне байланысты бірінші кезектегі міндет энергия үнемдеу арқылы абсолютті қазба отын тұтынуының өсу қарқынын төмендету болып табылады.

Қазақстан Республикасының батыс аймағының электрмен жабдықтаудың жеткілікті сенімді схемасы жоқ, оның негізгі ресурстары (газ, мұнай) бойынша артық, электр қуаты мен электр энергиясы тапшы. Жақын арада ілеспе газдың айтарлықтай көлемі Қашаған кен орнынан түсуі керек, оны электр энергиясын өндірудің жаңа нысандарына бағыттауға болады [9].

Бүгінгі таңда жылу энергетикасын дамытудың перспективті бағыттарының бірі аралас циклді газ қондырғыларын (ГҚ) пайдалану болып табылады [10]. Бір жылу тізбегінде біріктірілген газ турбиналық қондырғы мен бу турбиналық қондырғы біріккен бу-газ қондырғысын құрайды. Газ турбиналық қондырғыдағы газдардың жоғары бастапқы температурасы аралас циклдегі жылу берудің орташа температурасының жоғарылауына ықпал етеді. ГТҚ бу-су айналымының төмен температуралы бөлігінде газ турбиналық пайдаланылған газдардың жылуын қайта өңдеу үшін әртүрлі мүмкіндіктерді ұсынады. Сонымен қатар, электр энергиясының бірлігіне күрделі шығындар қазіргі заманғы көмір зауыттарының көпшілігінің шығындарынан төмен және оларды әлдеқайда жылдам салуға болады.

2.1 – кесте- Әртүрлі электр станциялары үшін меншікті күрделі салымдар мен отын шығынының салыстырмалы сипаттамасы

| Көрсеткіштер                                                  | БТҚ  | ГТҚ | БГҚ |
|---------------------------------------------------------------|------|-----|-----|
| Нақты күрделі салымдар, доллар/кВт<br>(1доллар*495 тенге/кВт) | 1100 | 350 | 525 |
| Стандартты отынның үлестік шығыны,<br>г/(кВт*сағ)             | 320  | 408 | 245 |

БГҚ зауыты ГТҚ төмен уытты жану камераларымен жабдықталғандықтан жоғары экологиялық көрсеткіштерге ие. Жылулық тұтынудан қосымша электр энергиясын өндірудің арқасында осыған ұқсас бу турбиналық қондырғылармен салыстырғанда әрбір 1 кВт сағ үшін көмірқышқыл газының шығарындыларын 25-30%-ға азайтуға болады. Қалдық жылу қазандығы (ҚЖҚ) бар аралас циклді газ турбиналық қондырғы Ресейде 51-52% және шетелдегі озық үлгілерде 60% тиімділікпен электр энергиясын өндірудегі қарапайымдылығымен және жоғары тиімділігімен ерекшеленеді [11].

Бу газ технологиясы (көмір, газ немесе басқа да отындарды жағудан кейінгі газдарды қайта өңдеу және пайдалану технологиясы) - энергия өндіру және экологиялық тиімділік саласындағы маңызды әдістердің бірі болып табылады. Бұл технологияның негізгі принциптері отынның жану өнімдерін тиімді пайдалануға және зиянды шығарындыларды төмендетуге бағытталған. Бу газ технологиясы негізінен өнеркәсіптік қазандықтар мен жылу электр станцияларының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бу газ технологиясының негізгі принциптері:

- Жану өнімдерін қайта өңдеу және пайдалану. Жану өнімдерінің жинақталуы: Отын толық жанғаннан кейін пайда болатын түтін газдарын жинау және оларды тиімді пайдалану маңызды. Жану өнімдері, негізінен, көмірқышқыл газы ( $\text{CO}_2$ ), азот оксидтері ( $\text{NO}_x$ ), күкірт диоксиді ( $\text{SO}_2$ ) және су буы ( $\text{H}_2\text{O}$ ) болып табылады. Бу газ технологиясы осы газдарды экологиялық тұрғыдан тиімді түрде өңдеуге мүмкіндік береді.

- Бу генерациясы. Жану өнімдерінің (түтін газдарының) жылу энергиясы бу генерациясына бағытталады. Түтін газдары жылу алмастырғыштар арқылы суды қыздыру үшін қолданылады. Бұл процеске жылу энергиясын алу үшін пайдаланылатын арнайы құрылғылар (мысалы, қалдық жылу алмасушылар немесе бу генераторлары) қатысады.

- Қалдық жылуды пайдалану. Қалдық жылу қайта пайдалануы: Жану процессінде бөлінген жылу көбінесе жоғалуы мүмкін. Бу газ технологиясында қалдық жылуды тиімді пайдалану үшін арнайы жылу алмастырғыштар мен қалдық жылу жүйелері қолданылады. Бұл жүйе арқылы түтін газдарының жылуы суды немесе басқа жұмыс сұйықтықтарын қыздыру үшін пайдаланылады.

- Түтін газдарын тазарту. Түтін газдарын тазарту және фильтрациялау: Бу газ технологиясында зиянды газдарды, әсіресе  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , және күл бөлшектерін шығару мөлшерін азайту мақсатында газдарды фильтрациялау маңызды. Бұл үшін газдарды тазартудың әр түрлі әдістері қолданылады, мысалы, химиялық скрубберлер немесе электрофилтрлер.

- Жоғары тиімділік пен энергия үнемдеу. Тиімді энергия өндіру: Бу газ технологиясының басты мақсаты - жану процесінің тиімділігін арттырып, энергияны үнемді пайдалану. Жоғары тиімділікті қазандықтар мен жылу алмастырғыштар қолдану арқылы жалпы жүйенің энергия шығымын азайтуға болады.

- Энергияны көптеп өндіру және қолдану. Жылу мен электр энергиясын бір уақытта өндіру (қосалқы энергия өндіру немесе когенерация) бу газ технологиясының маңызды ерекшеліктерінің бірі болып табылады. Бұл тәсілде бу газдарын қайта өңдеу электр энергиясын немесе жылуды өндіру үшін қолданылады.

- Қалдықтарды қайта өңдеу және пайдалану. Бу газ технологиясында кейде түтін газдарының құрамында пайда болатын қатты қалдықтарды қайта өңдеу немесе пайдалану үшін арнайы жүйелер

карастырылады. Мысалы, күкіртті газдарды күкірт қышқылына айналдыру, күлді цемент өндірісінде қолдану және т.б.

- Экологиялық қауіпсіздік. Бу газ технологиясының басты принциптерінің бірі экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету болып табылады. Бұл технология зиянды газдардың шығуын азайтуға, атмосфераның ластануын төмендетуге және энергияны тиімді пайдалануға көмектеседі. Ол өнеркәсіптік шығарындыларды реттеуге арналған экологиялық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етеді.

Бу газ технологиясының негізгі принциптері жану өнімдерін тиімді пайдалану, қалдық жылуды қайта өңдеу және экологиялық тиімділікке негізделген. Бұл технология энергияны үнемдеуге, зиянды шығарындыларды азайтуға және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Жаңа бу газ технологиялары энергия өндірісін тиімдірек әрі таза етуге бағытталған және ол болашақта өнеркәсіпте үлкен роль атқаратын болады.

Бу-газ технологиясы екі белгілі термодинамикалық циклдің комбинациясына негізделген: газ турбиналық цикл және Ренкин бу-қуат циклы.

Газ турбиналық қондырғының жұмыс циклі Т-С диаграммасында (температура мен энтропияның диаграммасы) жиі көрсетіледі. Бұл диаграмма арқылы турбинада өтетін термодинамикалық процестердің өзгерістерін көруге болады, яғни газдың жұмыс процесінде температура мен энтропияның өзгеруін визуалдауға мүмкіндік береді.

Газ турбиналық қондырғының жұмыс циклі

Газ турбиналық қондырғының жұмыс циклі негізінен келесі кезеңдерден тұрады:

1) Қысымның жоғарылау кезеңі (қысу): Газ турбиналық қондырғының бірінші сатысында ауа компрессор арқылы сіңіріліп, оның қысымы және температурасы көтеріледі. Бұл кезеңде ауа компрессорда сығылады, бұл процес энтропияның өсуіне алып келеді (яғни, сығу процесінде температура мен қысымның артуы).

Т-S диаграммасында бұл кезең қысымның жоғарылауымен және энтропияның біршама өзгеруімен сипатталады.

2) Жылу қосу кезеңі (жануды жүзеге асыру): Қысылған ауа газ турбиналық қондырғыда жану камерасына жіберіледі. Мұнда отын қосылып, қоспа жанған кезде температура мен энергия жоғарылайды. Бұл процестің нәтижесінде газдың температурасы жоғарылайды, бірақ қысымы шамамен тұрақты қалады. Осы кезеңде энтропия күрт өседі, өйткені жану кезінде көп жылу қосылады.

Т-S диаграммасында бұл кезең жоғары температураға дейін жоғарылайтын, бірақ қысымы салыстырмалы түрде тұрақты болып қалатын қисықпен көрсетіледі.

3) Кеңейту (турбинадағы жұмыс): Жану процесінен кейінгі жоғары температуралы және қысымды газ турбинаның жұмыс дөңгелектеріне жіберіледі. Турбинада газ кеңейіп, оның энергиясы механикалық энергияға

айналады. Бұл процестің нәтижесінде газдың температурасы төмендейді және энтропиясы көбейеді, өйткені энергияның бір бөлігі жұмыс ретінде шығарылады.

T-S диаграммасында бұл кезең кеңейту сызығымен көрсетіледі, яғни температура төмендейді, бірақ энтропия әлі де өседі.

4) Жылу шығару кезеңі (қалдық жылуды шығару): Газ турбинасынан шыққан газдардың температурасы төмен болғанымен, оларды қоршаған ортаға шығару үшін жылу алмастырғыш немесе түтін газдарын тазарту жүйесі арқылы шығару қажет. Бұл кезеңде газдың температурасы төмендейді, бірақ энтропияның өзгерісі минималды.

T-S диаграммасында бұл кезең температураның біршама төмендеуімен және қысымның тұрақты қалуымен көрсетіледі.

Газ турбиналық қондырғының T-S диаграммасы:

- 1 → 2: Компрессорда ауа сығылады, қысымы мен температурасы өседі. Бұл процестің энтропиясы аздап өседі.
- 2 → 3: Ауа жану камерасына келіп, отынмен қоспа жанады, температура жоғарылайды. Бұл жерде энтропияның күрт өсуі байқалады.
- 3 → 4: Жоғары температуралы газ турбина арқылы кеңейеді, нәтижесінде жұмыс істеп, температура төмендейді, бірақ энтропия өседі.
- 4 → 1: Газ турбиналық қондырғының соңғы кезеңінде газдың температурасы төмендейді, және қалған жылу қоршаған ортаға шығарылады.

Бұл диаграмма газ турбиналық қондырғының жұмыс цикліне қатысты термодинамикалық процестерді түсінуге көмектеседі. Әрбір кезеңде температура мен энтропияның өзгеруі қандай процесс орындалып жатқанын көрсетеді, мысалы, қысу, жану, кеңейту немесе жылу шығару.

Газ турбиналық қондырғының циклі T-S диаграммасында көрсетілген (2.1-сурет). Газ турбиналық қондырғының циклі жоғарыда айтылғандай төрт процесс арқылы жүзеге асырылады:

- осьтік компрессордағы сығымдау 1-2; жылумен жабдықтау 2-3 - газтурбиналық қондырғының жану камерасында отынның жануы;
- осьтік газ турбинасында кеңейту 3-4 - компрессор мен электр генераторын басқару үшін қуат өндіру;
- жылуды кетіру 4-1 - ыстық пайдаланылған жану өнімдерін атмосфераға шығару.



2.1 – сурет- TS – газ турбиналық циклінің диаграммасы

Мұндай қондырғының тиімділігі электрлік тиімділікке тең және бүгінгі күні өндірілген газ турбиналарының ең жақсы үлгілері үшін брутто 35-40% жетеді. 500-600°C жоғары температурасы бар газ турбиналық жану өнімдерінің жылуын пайдалану отын жылуын пайдалану тиімділігін күрт арттырады және тұтастай алғанда біріктірілген қондырғының тиімділігін айтарлықтай арттыруға әкеледі. Газтурбиналық қондырғының жану өнімдерінің жылуын пайдаланудың ең қарапайым тәсілі желілік суды жылу алмастырғышта жылыту болып табылады. Бұл әдіс жылумен жабдықтау максимумның 70-100% диапазонында жүзеге асырылған жағдайда тиімді қолданылады. Тұтынушыны жылумен қамтамасыз етудің бұл диапазоны газ турбинасының қуатын үнемді реттеу мүмкіндіктерімен анықталады, газ турбинасын тереңірек түсірумен, жану өнімдерінің ықтимал жылуының одан әрі төмендеуі болмайды [11].

## 2.2 SGT5-8000H газ турбинасы

SGT5-8000H - Siemens компаниясының өндіретін газ турбинасының үлгісі, оның қуаты жоғары және тиімділігі жоғары, әдетте газ турбиналық станцияларда қолданылатын озық технологияларға ие. Бұл турбина негізінен энергетика саласында қолданылады және қуат өндіру үшін өте тиімді шешім болып табылады.

SGT5-8000H газ турбинасының сипаттамалары:

1) Қуат пен тиімділік:

- Қуат: SGT5-8000H газ турбинасы өзінің толық жүктемеде 400 МВт дейін қуат өндіре алады, ол оны үлкен жылу электр станциялары мен өнеркәсіптік қондырғылар үшін тиімді шешім етеді.

- Жоғары тиімділік: Турбинада қолданылатын H-class технологиясы оны жоғары тиімділікпен жұмыс істей алатын қондырғы етеді. SGT5-8000H қондырғысының жылу тиімділігі шамамен 61% құрайды, бұл қазіргі заманғы газ турбиналары үшін өте жоғары көрсеткіш.

#### 2) Құрылымдық ерекшеліктері:

- Жоғары температураға төзімділік: SGT5-8000H турбинасында жоғары температураларға төзімділік өте жақсы дамыған, өйткені ол 1,500°C дейінгі температураларда жұмыс істей алады. Бұл жоғары температуралар отынның жану процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

- H-Class технологиясы: Бұл турбина жоғары температурадағы және тиімді кеңейтуге мүмкіндік беретін ең жаңа H-классты газ турбиналарының қатарына кіреді. H-классты турбиналар жалпы түрдегі газ турбиналарынан жоғары тиімділікке ие.

#### 3) Қоршаған ортаға әсері:

- Төмен шығарындылар: SGT5-8000H жоғары тиімді жұмыс істегендіктен, оның жұмысында CO<sub>2</sub> және басқа зиянды газдардың шығарылымы азаяды. Бұл қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан маңызды артықшылық болып табылады.

#### 4) Қолдану саласы:

- Энергетика: Бұл газ турбинасы негізінен энергия өндіру үшін қолданылады, оның жоғары тиімділігі мен қуаты оны үлкен жылу электр станцияларында немесе өнеркәсіптік қондырғыларда пайдалану үшін өте тиімді етеді.

- Комбинирленген циклді жүйелер: SGT5-8000H көбінесе комбинирленген циклді қондырғыларда (CCGT - Combined Cycle Gas Turbine) пайдаланылады. Бұл жүйеде газ турбинасының ыстық түтін газдары бу турбинасында жұмыс істейтін жылуды өндіру үшін қолданылады, бұл қосымша электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді.

#### 5) Жөндеу және қызмет көрсету:

- Ұзақ мерзімді жұмыс: SGT5-8000H турбинасы өте сенімді және ұзақ қызмет ету мерзіміне ие. Siemens компаниясы бұл турбинаның жоғары тиімділігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін үнемі техникалық қызмет көрсету мен жаңартуларды ұсынады.

#### 6) Инновациялық технологиялар:

- Digitalization (Цифрландыру): SGT5-8000H турбинасында цифрландыру технологиялары, мысалы, турбина жұмысының жағдайын мониторингтеу және ақауларды алдын ала анықтау жүйелері енгізілген. Бұл, өз кезегінде, турбинаның жұмысын оңтайландырып, қызмет көрсету уақытын азайтады.

SGT5-8000H - бұл жоғары қуатты және тиімді газ турбинасы, оны пайдалану қуат өндіру жүйелерін экономикалық тұрғыдан тиімді және

экологиялық таза етуге мүмкіндік береді. Оның жоғары тиімділігі, ұзақ мерзімді қызметі және төмен экологиялық әсері оны энергетика саласындағы жетекші шешімдердің бірі етеді.

## 2.2 – кесте- Техникалық деректер.

| Siemens газ турбины                                                 |                 |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Негізгі (базалық) шығыс қуаты, (МВт)                                | 375             |
| Отынның меншікті жылу шығыны, (кДж/кВт*сағ)                         | 8999            |
| Отынның меншікті жылу шығыны, (британдық жылу бірлік/кВт*сағ)       | 8530            |
| Брутто ПЭК, (%)                                                     | 40              |
| Кеңейту дәрежесі                                                    | 19,2            |
| Шығарылған газ шығыны, (кг/с)                                       | 829             |
| Шығарылатын газ ағыны, (фунт/с)                                     | 1828            |
| Турбинаның айналу саны, (айн/мин)                                   | 3000            |
| Шығарылатын газдың температурасы, ( <sup>0</sup> С/ <sup>0</sup> В) | 627/1161        |
| Газ турбинының физикалық өлшемдері                                  |                 |
| Шамамен салмағы (кг/фунт)                                           | 390 000/860 000 |
| Ұзындығы (м/фут)                                                    | 13,1/43         |
| Ені (м/фут)                                                         | 4,9/16          |
| Биіктігі (м/фут)                                                    | 4,9/16          |

Техникалық сипаттамасы:

- аралас цикл режимінде жұмыс істегенде ерекше жоғары, 60% астам тиімділік;
- қысқа іске қосу уақыты және циклдік жұмыс аралық жүктемелерде тұрақты жұмысты қамтамасыз етеді;
- ішінара жүктемеде жұмыс істегенде жоғары тиімділік және төмен шығарындылар;
- қозғалтқышты және басқа бөлшектерді ауамен салқындатумен жеңілдетілген дизайн, бұл техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтуға және қанау;
- жану және шығару температурасын арттыратын жетілдірілген материалдар;
- салқындатқыш ауаның төмен ағып кетуін қамтамасыз ететін жетілдірілген тығыздау жүйесі;
- көлденең қосқыш жазықтығы бар корпус;
- қақпақты шешпей, жоғары температурадағы газ жолын тексеру үшін персонал кіре алатын екі жану камерасы;
- жану камералары жеке элементтерді ауыстыруға мүмкіндік беретін керамикалық плиткалармен қапталған;

- Өнімділігі жоғарылаған 13 сатылы компрессор. Компрессор келесі технологияларды пайдаланады: CDA (Controlled Diffusion Airfoil) (басқаруланатын диффузиялық вентиль) ауа ағынын басқару, НРА (High Pressure Air). Компрессор айнымалы бұрышты қалақтарды пайдаланады;

- Сақиналы жоғары температуралы жану камерасы, бірінші кезеңге дейінгі газдың температурасы 1500 °С;

- Бірінші сатылы монокристалды қалақтары бар төрт сатылы турбина. 1-3 кезең қалақтары керамикамен қапталған және ауаны салқындатуы бар;

- Бір білікті БГҚ конструкциясы;

- Қалдық жылу қазандығы тізбегіндегі таза будың температурасы мен қысымының жоғарылауы (600 °С, 17 МПа);

- Ротор көтеру биіктігін оңтайландыруға арналған гидравликалық жүйе (НСО);

- Салқындатқыш ауаның ағып кетуін азайтатын жетілдірілген тығыздау жүйесі;

- Жану камерасындағы және газ турбиналық қондырғының шығысындағы температураны арттыруға мүмкіндік беретін жаңа ыстыққа төзімді материалдар.

Бұл әлемдік деңгейдегі турбина қолданыстағы өнім желілері мен озық технологияның ең жақсы мүмкіндіктерін біріктіреді. Бір білікті турбина - 570 МВт-тан астам қуаты және 60% -дан астам ПӘК бар SCC5-8000H аралас циклді қондырғысының негізгі қозғалтқышы.

SGT5-8000H газ турбины және SCC5-8000H 1S аралас циклді газ турбины экологиялық таза технологияның трендтері болып табылады, бұл дәстүрлі зауыттармен салыстырғанда CO<sub>2</sub> шығарындыларының жыл сайын 40 000 тоннаға азаюымен расталады.

### **2.3 Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру**

Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру – бұл қондырғының жұмысын қалпына келтіру және оның тиімділігін арттыру мақсатында орындалатын шаралар жиынтығы. Бу газды қондырғылар (қосалқы циклды газ турбиналық қондырғылар немесе CCGT - Combined Cycle Gas Turbine) жоғары тиімділікті және экологиялық тұрғыдан таза энергия өндіруге мүмкіндік береді. Бірақ уақыт өте келе олардың жұмыс істеу тиімділігі төмендеуі мүмкін, бұл әдетте ақауларға, тозуға немесе жұмыс режимдеріндегі өзгерістерге байланысты болады. Сондықтан, бу газды қондырғыларын қалпына келтіру маңызды процесс болып табылады.

Бу газды қондырғыларын қалпына келтірудің негізгі мақсаттары:

Жұмыс тиімділігін қалпына келтіру. Қондырғының тиімділігін қалпына келтіру - бұл бірінші кезекте отынның тиімді пайдалануын және энергияның максималды шығуын қамтамасыз ету. Қалпына келтіру шараларының көмегімен қондырғының термодинамикалық тиімділігі, яғни отынның

шығынын азайту және жылу энергиясының көп бөлігін электр энергиясына айналдыру мүмкіндігі арттырылады.

Энергия өндірісін тұрақтандыру. Қалпына келтіру арқылы энергия өндірудің үздіксіздігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету, сондай-ақ жалпы электр қуатының сенімділігі мен сапасын арттыруға қол жеткізу мүмкін болады.

Қоршаған ортаға әсерді азайту. Қалпына келтіру процестерінде зиянды шығарындыларды төмендетуге мүмкіндік беретін шаралар (мысалы, түтін газдарын тазарту жүйелерін жақсарту немесе NO<sub>x</sub> және SO<sub>x</sub> шығарындыларын азайту) енгізілуі мүмкін.

Қондырғының өмірлік циклі мен сенімділігін арттыру. Қалпына келтіру жұмыстары қондырғының ұзақ мерзімді қызметін қамтамасыз етеді. Бұл ұзақ уақыт бойы жұмыс істеп келе жатқан қондырғылардың сенімділігін арттырады.

Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру шаралары:

Техникалық диагностика және ақауларды анықтау. Қалпына келтірудің алғашқы кезеңі - қондырғының жұмысын диагностикалау. Бұл кезеңде ақаулар мен тозуды анықтау мақсатында барлық негізгі элементтер (газ турбинасы, бу генераторы, жылу алмастырғыштар және т.б.) тексеріледі. Техникалық диагностика кезінде датчиктер мен бақылау құралдары арқылы жұмыстың параметрлері (температура, қысым, жылдамдық және т.б.) бақыланады.

Газ турбинасын жөндеу және жаңарту. Газ турбиналарының жұмыс істеген кезде уақыт өте келе механикалық тозу мен коррозия болуы мүмкін. Бұл тозу мен коррозияны қалпына келтіру үшін турбинаның бөлшектері жөнделіп, жаңартылып, майлау жүйелері және ауа сүзгілері тексеріледі. Газ турбиналарының кеңейту жүйелерін және жану камераларын қайтадан тексеріп, қажет болған жағдайда тозған бөліктерді ауыстыру жұмыстары жүргізіледі [12].

Жылу алмастырғышты (HRSG) жөндеу. Бу газды қондырғыларында HRSG (Heat Recovery Steam Generator) - жылу алмастырғыштың жұмысы маңызды рөл атқарады. Жылу алмастырғышта қалдық газдар бу өндіруге арналған жылуды береді. Бұл құрылғының тиімді жұмыс істеуі үшін оның дұрыс жұмыс істейтіндігіне, ақаусыз екендігіне көз жеткізу керек. Жылу алмастырғышты тазалау және ішкі бөліктерін тексеру маңызды. Құрылғының беттерінде пайда болған шөгінділер мен тотты кетіру үшін химиялық тазалау немесе механикалық әдістер қолданылуы мүмкін.

Қалдық жылуды қалпына келтіру. Бу газды қондырғыларының тиімділігін арттыру үшін қалдық жылуды пайдалану маңызды. Егер жылу алмастырғыш дұрыс жұмыс істемесе немесе тиімділікті жоғалтса, қосымша шаралар қабылданады, мысалы, жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыру үшін жаңа технологияларды қолдану.

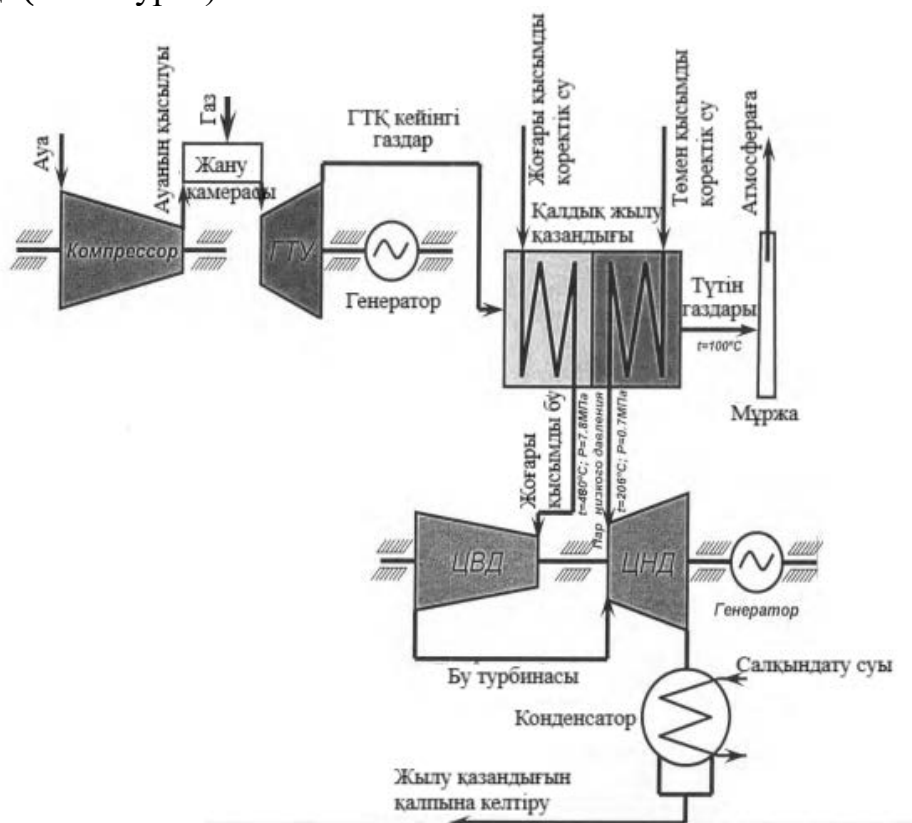
Түтін газдарын тазарту және экологиялық тиімділік. Түтін газдарындағы зиянды заттарды азайту үшін жаңа технологияларды енгізу

кажет. Қалпына келтіру кезінде түтін газдарын тазартуға арналған жүйелерді жаңарту,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  және  $\text{SO}_x$  шығарындыларын азайту үшін катализаторлар мен сорбенттерді қолдану сияқты шаралар қабылданады. Қалпына келтіру кезінде турбинаның шығарындыларына қатысты экологиялық нормативтерді орындау үшін сүзгілер мен газ тазарту жүйелерін жаңарту маңызды.

Цифрландыру және мониторинг жүйесін жаңарту. Заманауи бу газды қондырғылары цифрландыруды қолдану арқылы тиімді жұмыс істейді. Операциялық параметрлерді мониторингтеу және турбинаның жұмысын автоматтандыру үшін жаңа датчиктер мен бағдарламалық қамтамасыз ету орнатуға болады. Қондырғының өнімділігі мен ақауларын алдын ала анықтау үшін болжамды техникалық қызмет көрсету жүйелері енгізіледі.

Жабдықтың құрылымын жаңарту және күшейту. Бу газды қондырғылардың құрылымын күшейту және жаңа құрылғыларды қосу жұмыстары да жүзеге асырылады. Бұл жұмыс қондырғының тұрақты жұмысын қамтамасыз етуге көмектеседі және оның қауіпсіздігін арттырады.

Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру - бұл қондырғының ұзақ мерзімді тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін маңызды шаралар кешені. Бұл жұмыстар энергетикалық тиімділікті арттыруға, экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге және қызмет көрсету шығындарын азайтуға көмектеседі (2.2 – сурет).



2.2 – сурет- Бу газды қондырғыларын қалпына келтіру

Бу газды қондырғыларын тиімді қалпына келтіру үдерісі инновациялық технологияларды қолдану, жүйелі диагностика мен жөндеулерді қамтиды, бұл қондырғының қызмет ету мерзімін ұзартуға және оның тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Ең жоғары тиімділікке кәдеге жарату типті БГҚ - да қол жеткізілді, бұл кезде бу бөлігінде пайдаланылатын барлық жылу ГТҚ-да шығарылған газдармен қамтамасыз етіледі. Мұндай заманауи бу-газ қондырғыларының бу бөлігі салыстырмалы түрде қарапайым болып келеді.

Бу регенерациясы тиімсіз және пайдаланылмайды. Қатты қыздырылған будың температурасы газ турбиналық қондырғыдағы пайдаланылған газдардың температурасынан 20-50 °С төмен болады. Ағымдағы бу қысымы бу турбиналарының соңғы кезеңдерінде қолайлы ылғалдылыққа ие болу үшін таңдалады. Газдар мен бу-су ортасы арасындағы температуралық қысымды төмендету және термодинамикалық шығыны азырақ газтурбиналық қондырғыда шығарылған газдардың жылуын пайдалану үшін қоректік судың булануы екі немесе үш қысым деңгейінде ұйымдастырылады.

Газ турбиналық қондырғылардағы қатты қыздырылған бу мен пайдаланылған газдар арасындағы температура айырмашылығы бірнеше маңызды факторларды білдіреді, олар газ турбиасы мен бу турбиасының жұмысын оңтайландыруға қатысты.

Негізгі себептер мен түсіндірмелер:

Температураның айырмашылығы. Газ турбиналық қондырғыларда қолданылатын газдар жоғары температураға дейін қыздырылады (500-1500°С дейін), бұл газ турбиасының жұмысын қамтамасыз етеді. Бұл жоғары температуралы газдар бу генераторына (HRSG) түседі, онда олар бу өндіру үшін қолданылады. Бірақ, турбинаның жұмыс істеу принципі бойынша, газдардың температурасы жеткілікті жоғары болғанымен, қатты қыздырылған бу осы температурадан біршама төмен болады (20-50°С), өйткені бу турбиасына қосылу үшін оның температурасы газ турбиасының қалдық газдарының температурасынан төмен болуы қажет.

Газ турбиасының жұмыс циклі. Газ турбиасында жұмыс істейтін газдар жану процесі арқылы жоғары температураға жетеді, ол газ турбиасының жұмыс қабілетін қамтамасыз етеді. Турбина арқылы кеңейген газдардың температурасы төмендейді, сондықтан қалдық газдар әдетте 500-600°С шегінде болады. Бұл қалдық газдар HRSG (жылу алмастырғыш бу генераторында) қолданылып, олар бу турбиасының жұмысын қамтамасыз ету үшін қажетті температура мен қысымды алу үшін пайдаланылады. Қатты қыздырылған бу әдетте 450-550°С температурада болады, сондықтан оның температурасы газ турбиасынан шыққан қалдық газдардың температурасынан 20-50°С төмен болады.

Жоғары тиімділік және энергияны қалпына келтіру. Газ турбиналары мен бу турбиналарын біріктіру арқылы қосалқы циклды қондырғылар (CCGT) жүйесінде жылуды екі рет пайдалану қамтамасыз етіледі: біріншісі -

газ турбинысында, екіншісі - қалдық газдардан алынатын жылудан. Қатты қыздырылған бу газ турбинысынан шыққан газдардың төмен температуралы қалдықтарын пайдалану үшін турбинадан шыққан газдардың жылуын бу генераторына бағыттау маңызды. Осылайша, газдардың температурасынан төмендеуін ескере отырып, тиімділік артады.

Термодинамикалық процесс. Газ турбинысындағы қалдық газдардың температурасы жоғары болғанымен, оларды жылу алмастырғыштар мен бу генераторлары арқылы керекті бу температурасын алу үшін пайдалану қажет. Бұл процессте белгілі бір жылу жоғалуы болады, сол себепті қатты қыздырылған бу газдардың температурасынан 20-50°C төмен болуы мүмкін.

Газ турбиналық қондырғыларда пайдаланылған газдардың температурасы жоғары болғанымен, қатты қыздырылған бу көбінесе газ турбиналарының қалдық газдарынан 20-50°C төмен болады. Бұл айырмашылық газ турбинысынан шыққан қалдық газдардың жоғары температурасы мен бу генераторларында жұмыс істеуге қажетті температура арасындағы термодинамикалық тепе-теңдікті білдіреді.

## **2.4 Бір контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары**

Бүгінде Қазақстанда Ақтөбе ферроқорытпа зауытының (АФЗ) қуаттылығы 137 МВт электр станциясында жалғыз БГҚ қолданылады.

Жалғыз бу газ қондырғысы негізінде жұмыс істейтін электр станциясы - бұл газ және бу технологияларын үйлестіретін қондырғы, яғни комбинирленген цикл. Бұл технология қуатты тиімді өндіруге мүмкіндік береді, себебі бу мен газ турбиналарының жұмысын біріктіру арқылы жылу мен энергияның жоғалуы азайтылады.

Қондырғының жұмыс принципі:

1) Газ турбинысы: Газ қондырғысы табиғи газ немесе басқа отын түрлерін жағып, жоғары температура мен қысымда газ турбинысында энергияға айналдырады. Бұл процесс салыстырмалы түрде жылдам және тиімді болады.

2) Бу турбинысы: Газ турбинысының шығарындыларынан пайда болатын ыстық газды су буын генерациялауға пайдаланатын қазандыққа бағыттайды. Бу турбинысы осы ыстық будан энергия өндіреді, ол электр энергиясына айналады.

3) Қуаттылық: АФЗ қуаттылығы 137 МВт — бұл жалғыз бу газ қондырғысының жалпы электр энергиясын өндіру қабілеті. Мұндай жүйе әдетте жоғары тиімділікпен жұмыс істейді, себебі екінші кезеңде (бу турбинысында) қосымша энергия өндіріледі, бұл жалпы тиімділікті арттырады.

Бу газ қондырғысының артықшылықтары:

- Жоғары тиімділік: Газ турбинымен жұмыс істейтін қондырғылар салыстырмалы түрде жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді, ал қосымша бу турбины жылу қалдықтарын пайдалану арқылы бұл тиімділікті арттырады.

- Энергия үнемдеу: Бұл технология энергияны үнемдеу тұрғысынан өте тиімді, себебі газды және бу циклдарын біріктіру арқылы энергия шығындары айтарлықтай төмендейді.

- Қалдық жылуды пайдалану: Газ турбинынан шыққан ыстық газдар бу турбины жұмысқа қосатын бу өндіруге жұмсалады, бұл өндірілген энергияны максималды деңгейге жеткізуге көмектеседі.

Бұл жүйе Ақтөбе ферроқорытпа зауыты сияқты өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін өте тиімді болуы мүмкін, себебі ол жоғары электр энергиясын өндіріп қана қоймай, қалдық жылуды пайдалануды да қамтамасыз етеді, осылайша жалпы шығындар мен энергия тұтынуды азайтады.

Бір контурлы бу газ қондырғыларының мүмкін болатын жылу сұлбаларының нұсқаларын қарастырып, олардың тиімділігін салыстырайық [2,4]. Бұл түрдегі бу турбиналық қондырғысының (БТҚ) негізгі конденсатын қыздыру тізбегінде ерекшеленуі мүмкін қарапайым жылу тізбегіне ие.

Бу газ қондырғыларында конденсатты қыздыру жүйесінің ұйымдастырылуы қондырғының тиімділігі мен сенімділігі үшін маңызды аспект болып табылады.

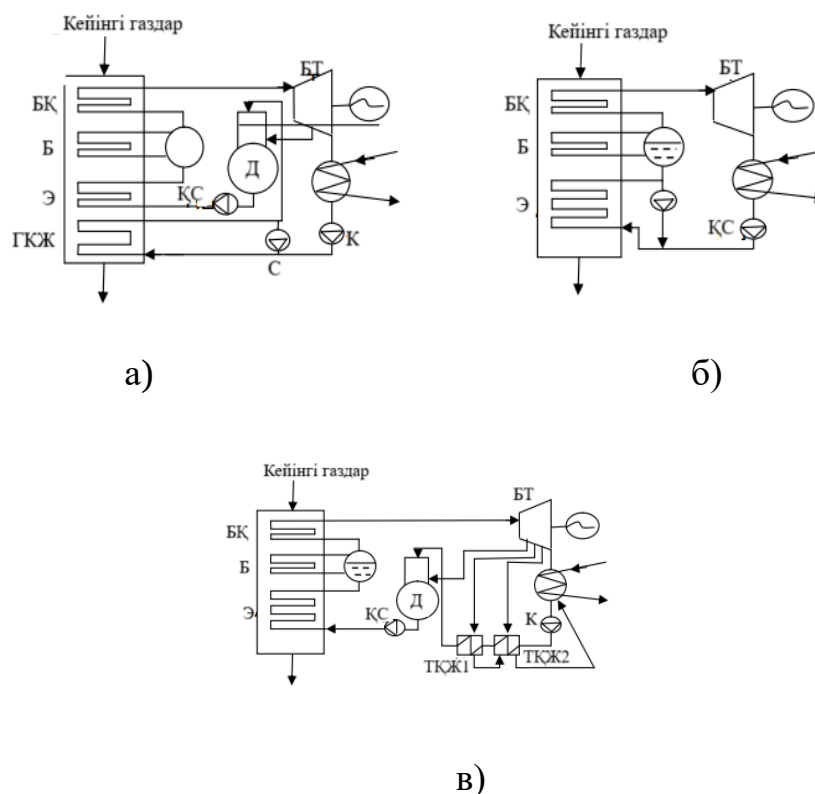
Конденсатты қыздыру болмауы. Бұл жағдайда конденсатты қыздыру жүйесі қарастырылмайды немесе қажет емес деп есептеледі. Әдетте бұл жағдайда конденсаттың температурасы бастапқы деңгейде қалады, және оны қайтадан пайдалануға немесе қазандыққа қайтаруға болады. Бұл конфигурация, әдетте, қосымша жылу көздері немесе жылу алмастырғыштарды пайдалану қажеттілігін болдырмау үшін таңдалады, бірақ оның тиімділігі төмен болуы мүмкін, себебі конденсаттың температурасы жоғары болған сайын, жылу алмасу процесі тиімді болады.

Конденсатты қыздыру газ конденсатын қыздырғышта немесе деаэраторы бар екі төмен қысымды қыздырғышта. Бұл жағдайда газ конденсатын қыздырғыш немесе деаэратордағы екі төмен қысымды қыздырғыш қолданылады. Мұнда конденсаттың температурасы газ конденсатынан немесе су буынан алынған жылумен көтеріледі. Газ конденсатын қыздырғыш (ГКҚ): Газ конденсатын қыздырғыш — бұл қондырғының бөлігі, ол газ турбинынан немесе басқа жылу көздерінен шыққан газды пайдаланып конденсаттың температурасын арттырады. Бұл қосымша жылу конденсатты жылытуға және бу генерациялау жүйесінде тиімділікті арттыруға көмектеседі. Газ конденсатын қыздырғыштың көмегімен қалдық жылу пайдаланылып, конденсаттың температурасы жоғарылайды, бұл қазандықтағы бу сапасын жақсартып, жүйенің жалпы тиімділігін арттырады.

Деаэратор мен екі төмен қысымды қыздырғыш. Деаэратордағы төмен қысымды қыздырғыштар конденсатты қыздырып, оны қазандыққа қайтарады. Бұл жағдайда жылу алмасу процесі қосымша жылу алмастырғыштар арқылы жүзеге асырылады. Бұл тәсілде конденсаттағы оттегіні кетіру үшін деаэратор қолданылады, ол жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді, себебі сұйықтықтағы оттегі болмауы қажет.

Егер конденсатты қыздыру болмауы мүмкін болса, онда жүйе тиімділігін жоғалтады, себебі конденсаттың температурасы мен сапасы төмен болады, бұл қосымша энергия шығындарын тудырады. Ал егер газ конденсатын қыздырғыш немесе деаэратордағы төмен қысымды қыздырғыштар қолданылса, онда конденсатты алдын ала қыздыру процесі жылуды қайта пайдалану арқылы жүйенің жалпы тиімділігін арттырады.

Бу газ қондырғыларының жылу тізбегінде конденсатты қыздыру болмауы мүмкін (2.3, б-сурет) немесе қыздыру газ конденсатын қыздырғышта (ҚГК) (2,3, а-сурет) немесе деаэраторы бар екі төмен қысымды қыздырғышта (2.3, в-сурет) [3].



БҚ - бумен қыздырғыш; Б – буландырғыш; Э - экономайзер; БТ - бу турбины; КС, ҚС - конденсат және қоректік сорғылар; ГКЖ - газ конденсатын жылытқыш; Д - деаэратор; ТКЖ1, ТКЖ2 - төмен қысымды жылытқыштар; ЖСРС - жұмыс сұйықтығының рециркуляциялық сорғы.

2.3 – сурет- Бір тізбекті қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларына арналған жылу схемасының нұсқалары

Қарастырылған схемалардың тиімділігі әртүрлі болады. 2.3-кестеде ГТҚ-110 кіретін қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларының жылу сұлбаларын есептеу нәтижелері көрсетілген.

2.3-кесте- БГҚ ҚЖҚ жылу схемасының есебінің нәтижесі (ГТҚ-110)

| Жылу схемасының типі           | $N_{ГТҚ_{эл}}$ , МВт | $G_T$ , кг/с | ГТҚ шығысындағы газ $t, ^\circ C$ | ҚЖҚ кеткен газдың $t, ^\circ C$ | $\eta_{ҚЖҚ}$ | $H_{БГҚ}$ | $N_{БГҚ_{эл}}$ , МВт |
|--------------------------------|----------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| ГКЖ және Д тар б) схемасы үшін | 110                  | 356          | 550                               | 158                             | 0,724        | 0,501     | 157,4                |
| ГКЖ және Д тар а) схемасы үшін | 110                  | 356          | 550                               | 159                             | 0,72         | 0,496     | 156                  |
| ҚС және Д тар б) схемасы үшін  | 110                  | 356          | 550                               | 195                             | 0,66         | 0,48      | 154                  |

Қалдық жылу қазандығының төмен тиімділігі пайдаланылған газдарды  $158 ^\circ C$ -тан төмен салқындату мүмкін еместігімен түсіндіріледі, бұл қалдық жылу қазандығының тиімділігін төмендетеді. БТҚ бар ҚЖҚ тиімділігін одан әрі арттыру ГТҚ шығыс газдарын тереңірек салқындату арқылы мүмкін болады.

Желілік судың газ қыздырғышының кіріс және шығысындағы желілік судың температурасын  $60/110 ^\circ C$ -қа тең, ал қалдық жылу қазандығының кіретін және шығатын газдарының температурасын  $158/100 ^\circ C$ -қа тең етіп, желілік судың газ қыздырғышы арқылы желілік судың ағуын анықтауға болады, БТҚ-110 бу газ қондырғыларын пайдалану кезіндегіні қабылдаймыз [3, 4].

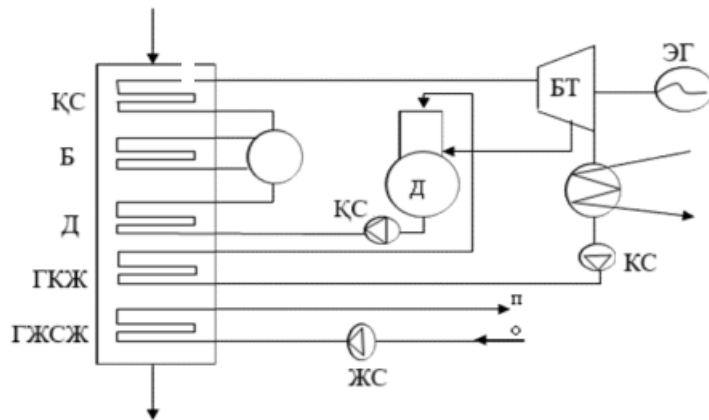
$$G_{cy} = \frac{G_{газ} \cdot (I_{кир} - I_{кет})}{(h^{мыс} - h^{кир})} \quad (2.1)$$

$$G_{cy} = \frac{356 \cdot (177 - 113)}{(460,9 - 293,3)} = 108,75 \text{ кг/с} = 391,5 \text{ т/сағ}$$

Ал желілік сумен қабылданатын жылу:

$$Q = G_{cy} \cdot (h^{шыз} - h^{кшр}) \quad (2.2)$$

$$Q = 108,7 \cdot (460,9 - 293,3) = 18120,29 \text{ кВт}$$



2.4 – сурет- Газбен жылытатын су жылытқышы (ГЖСЖ) бар БГҚ құрылымдық жылу схемасы: БҚ - бумен қыздырғыш; Б – буландырғыш; Э - экономайзер; БТ - бу турбины; КС, ҚС-конденсат және қоректендіру сорғылары; ГКЖ - газ конденсатын жылытқыш; Д - деаэратор; РС - жұмыс сұйықтығының рециркуляциялық сорғы; ЖСБ, ЖСҚ – желілік суды беру және қайтару; ЖС - желілік сорғы; ГЖСЖ - газбен жылытатын су жылытқышы

ГЖСЖ ҚЖҚ-ның ПЭК

$$\eta_{КЖК} = \frac{(I_d - I_{кет})}{(I_d - I_a)} \quad 202 \quad (2.3)$$

$$\eta_{КЖК} = \frac{(595,5 - 113)}{(595,5 - 15,4)} = 0,83$$

Жылу және электр энергиясын өндіруге арналған бу газ қондырғыларының тиімділігі:

$$\eta_{БГК} = \frac{(N_{БГК} + Q)}{Q_{ЖЭ}} \quad (2.4)$$

$$\eta_{БГК} = \frac{156 + 18,12}{314,3} = 0,55$$

Қазіргі уақытта Қазақстанда бірқатар газ турбиналық электр станциялары жұмыс істейді: Оралда қуаттылығы 54 МВт газтурбиналық электр станциясы, Ақтөбе рельс-арқалық зауытында қуаттылығы 36 МВт газ поршеньді қондырғы, Қызылорда облысының Ақшабұлақ ауылы мен Құмкөл

ауылында, ЗГЭС және 387-ші газ турбиналы станциясы хол, сыйымдылығы 152 МВт.

Жаңасын салу және ескі газбен жұмыс істейтін жылу электр станцияларын қайта құру кезінде энергия тиімділігін арттыру және энергияны үнемдеу мақсатында бу газ қондырғыларын пайдалануды қамтамасыз ету қажет.

Қалдық жылу қазандығы (ҚЖҚ) - жоғары және төмен қысымды булану контурларында мәжбүрлі циркуляциясы бар барабан, бір корпусы, тік профильді, ілулі, аралық металл конструкциялар арқылы өз қаңқасынан ілулі.

Өнеркәсіптік немесе энергетикалық жүйелерде қолданылатын қазандық, оның негізгі мақсаты – өндірістік процестер кезінде немесе басқа көздерден шыққан қалдық жылуды қайта пайдалану арқылы қосымша энергия өндіру. Мұндай қазандықтарда қалдық жылудың тиімді пайдаланылуы арқасында энергия тұтыну шығындарын азайтуға болады.

Барабанды құрылым. Қазандықтың жүрегі болып табылатын барабан, ол бу қалыптасатын негізгі бөлшек. Мұнда сумен немесе су-бумен араласқан сұйықтық жоғары қысымда буға айналады.

Мәжбүрлі циркуляция. Бұл механизм су мен бу айналымын қамтамасыз етеді. Жоғары қысым мен температурада судың қайнау процесі жүреді, және бұл процесс мәжбүрлі түрде циркуляцияланады, яғни арнайы сорғылар арқылы сұйықтықтың айналымы жүзеге асырылады.

Тік профильді конструкция. Қазандықтың көлденең емес, тік тұратын пішіні, бұл оның орнықтылығын қамтамасыз етеді әрі жылу алмасуды тиімді етеді.

Ілулі металл конструкциялар. Бұл қазандықтың құрылымы, әдетте, металл конструкциялардың аралық қаңқасына ілінеді, бұл құрылғының беріктігін арттырады және оның тиімді жұмыс жасауына мүмкіндік береді.

ҚЖҚ кеңінен өнеркәсіптік жағдайларда, мысалы, химия, металлургия, энергетика салаларында, қалдық жылуды пайдалану арқылы энергия өндірісін қамтамасыз ету үшін қолданылады.

Қалдық жылу қазандығымен жабдықталған жабдыққа қызмет көрсету үшін қажетті орындарда баспалдақтар мен платформалар қарастырылған.

Қалдық жылу қазандығы металл төсемі мен металл емес тығыздағыштардың арқасында газ өткізбейтін етіп жасалған. Бу-су жолы бөлек жоғары және төмен қысымды тізбектерден тұрады. Қазандық конденсатты деаэраторға алдын ала жалғанған газ конденсатын қыздырғышпен (ГКҚ) жабдықталған. Конденсат жолы желідегі суды жылытатын судан суға жылу алмастырғыштарды орнатуды қарастырады.

Газ конденсатын қыздырғыш (ГКҚ) мен конденсатты деаэратордың қолданылуы маңызды рөл атқарады, бұл қазандықтың тиімділігін және оның жұмысын жақсартуға бағытталған шаралар. Осы құрылымдардың әрқайсысының негізгі қызметін және олардың өзара әрекеттесуін түсіндіре кетейін:

Газ конденсатын қыздырғыш (ГКК). Бұл құрылғы газ конденсатының температурасын арттыру үшін қолданылады. Газ конденсатының жылуы, әсіресе газды күйдегі отынның жану процесі кезінде бөлінген жылу, кейіннен осы қыздырғышта қолданылып, жүйедегі басқа компоненттерді қыздыруға көмектеседі. Газ конденсатын қыздырғыштың жұмыс принципі: газ конденсаты жылыту жүйесінің бөлігі ретінде газ күйіндегі отынның қалдық жылуын пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл жылу тиімділігін арттырып, энергия шығынын азайтады.

Конденсатты деаэратор. Конденсатты деаэратор - бұл қазандықтың жүйесіндегі сұйықтықтағы оттегін және басқа газдарды кетіру үшін қолданылатын құрылғы. Бұл өте маңызды, себебі оттегі мен басқа газдардың болуымен су немесе конденсатта коррозия процесі жүреді, бұл қазандықтың және басқа компоненттердің қызмет ету мерзімін қысқартады. Деаэратор конденсаттан еріген газдарды шығарып, су сапасын жақсартады, оның бойындағы оттегін төмендетіп, қазандықтың тиімділігін арттырады.

Желідегі суды жылытатын суға жылу алмастырғыштар. Су жылу алмастырғыштар (жылу алмастырғыштар) су мен газ конденсатының арасындағы жылу алмасуды қамтамасыз етеді. Мұндай жүйе арқылы су желісінде немесе қазандықтың конденсатында жылу шығындарын азайтуға және жалпы жылу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда, судың белгілі бір бөлігін газ конденсатын қыздыру үшін пайдалану, сол арқылы желідегі суды алдын ала жылыту жүзеге асырылады. Бұл қазандықтың жалпы энергия тиімділігін жақсартуға ықпал етеді, себебі бастапқы температурасы төмен суға қосымша жылу беріледі.

Осы жүйенің негізгі мақсаты - қалдық жылуды барынша тиімді пайдалану. Газ конденсатын қыздырғыш пен деаэратор бірлесіп жұмыс істегенде, жылу шығындары азайып, жүйе тиімдірек жұмыс істейді, ал жылу алмастырғыштар арқылы конденсат және су арасындағы жылу алмасуды жақсарту энергияның тиімділігін одан әрі арттырады.

Қалдық жылу қазандығының дизайны жылыту беттерін және құбырларды дренажды, сондай-ақ іске қосу алдындағы және операциялық химиялық және суды жуу және консервациялау мүмкіндігін қарастырады.

Қалдық жылу қазандығы сақтандыру, өшіру және реттеу клапандарымен, айналым сорғыларымен және рециркуляциялық сорғылармен, үздіксіз және мерзімді үрлеу кеңейткіштерімен жабдықталған.

Қалдық жылу қазандығы технологиялық басқару жүйелерімен жабдықталған оперативті басқару, қауіпсіз пайдалану және үнемді пайдалану үшін қажетті параметрлер, қорғаныс және блоктау және автоматты реттеу болып келеді. Сонымен қатар олардың технико-экономикалық көрсеткіштерін 2.4 – кестеде көрсетілген.

## 2.4 – кесте -Технико-эконикалық көрсеткіштерін

| Көрсеткіштердің аттары                                                    | Шамалар |
|---------------------------------------------------------------------------|---------|
| Сыртқы ауа температурасы, °C                                              | 3,3     |
| ГТҚ жүктемесі, %                                                          | 100     |
| Жоғары қысым тізбегі (контуры):                                           |         |
| Бу сыйымдылығы, т/сағ                                                     | 415,4   |
| ҚЖҚ шығысындағы бу қысымы, МПа                                            | 12,8    |
| Будың шығу температурасы, °C                                              | 565     |
| Төмен қысым тізбегі (контуры):                                            |         |
| Бу сыйымдылығы, т/сағ                                                     | 101,3   |
| ҚЖҚ шығысындағы бу қысымы, МПа                                            | 5       |
| Будың шығу температурасы, °C                                              | 200     |
| Түтін газының температурасы, °C                                           | 124,5   |
| ВВТО жүктемесі, МВт                                                       | 4       |
| Шектердегі барлық газ жолының аэродинамикалық кедергісі, кПа (артық емес) | 3250    |

## 2.5 Қуаты 550 МВт БГҚ, екі контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларын (БГҚ) есептеу

Екі контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары - бұл жоғары тиімділікпен жұмыс істейтін энергетикалық жүйелердің бір түрі. Мұндай қондырғыларда газ және бу турбиналарының үйлесімі арқылы қалдық жылуды тиімді пайдалануға мүмкіндік беріледі. Қалдық жылу қазандығының екі контурлы схемасы жүйенің энергия шығару қабілетін арттырады және жалпы тиімділігін жақсартады.

Екі контурлы қалдық жылу қазандығының құрылымы:

1) Бірінші контур — газ турбинасы:

1.1) Бұл кезеңде табиғи газ немесе басқа отын түрі жағылады, нәтижесінде жоғары температуралы газдар пайда болады. Бұл газдар бу газ қондырғысының турбинасына бағытталып, механикалық энергияға айналады.

1.2) Газ турбинасының жұмысында пайда болатын ыстық қалдық газдар кейінгі кезеңде қосымша энергия өндіруге пайдаланылуы мүмкін.

1) Екінші контур — бу турбинасы:

2.1) Газ турбинасынан шыққан ыстық қалдық газдар арнайы қалдық жылу қазандығына бағытталады. Мұнда газдың жылуы сумен немесе су буымен араласқан сұйықтықты қыздыру үшін пайдаланылады, нәтижесінде бу генерацияланады.

2.2) Бу, өз кезегінде, бу турбинасына беріледі, онда ол қосымша электр энергиясына айналады.

1) контурлы қалдық жылу қазандығының жұмыс принципі:

2) Газ турбинасы: Жоғары температуралы газдар газ турбинасын қозғап, механикалық энергия өндіреді.

3) Қалдық газды пайдалану: Газ турбинасынан шыққан ыстық қалдық газдар қалдық жылу қазандығына беріледі, онда олар суды немесе су буын қыздыру үшін пайдаланылады.

4) Бу турбинасы: Қалдық жылу қазандығынан алынған бу бу турбинасын қозғап, қосымша электр энергиясын өндіреді.

Артықшылықтары:

Жоғары тиімділік: Бу газ қондырғысының екі контурлы схемасы жүйеде қалдық жылуды пайдалануға мүмкіндік береді, бұл жалпы жүйенің тиімділігін арттырады. Газ турбинасынан шыққан қалдық газдарды қолдану арқылы қосымша бу өндіріліп, ол электр энергиясына айналады.

Энергияны тиімді пайдалану: Қалдық жылудың екінші контурында қолданылуы электр станциясының энергия өндірісінің жалпы тиімділігін арттырады, себебі екі түрлі энергия көздері (газ және бу турбиналары) бір мезгілде жұмыс істейді.

- Экологиялық артықшылықтар: Қалдық жылудың қайта пайдалану арқылы отын шығыны мен  $\text{CO}_2$  эмиссиясын азайтуға болады.

Екі контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары өнеркәсіптік кешендерде, әсіресе жоғары жылу мен энергия қажеттілігі бар салаларда қолданылады. Мұндай жүйелер химия, металлургия, энергетика салаларында кеңінен қолданылады, себебі олар энергия тиімділігін арттырып, шығындарды төмендетеді.

Ақтөбе ферроқорытпа зауыты сияқты өнеркәсіптерде осындай қондырғылар қолданылса, энергияны тиімді пайдалануды қамтамасыз ету арқылы жалпы өндіріс процесінің тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді.

ГТҚ сипаттамаларының берілгендері:

Біз келесі көрсеткіштерге ие Siemens SGT5-8000H қондырғысынан газ турбиналарын таңдаймыз:

- Электрлік қуат  $N_g = 375 \text{ МВт}$ ;
- Шығарылатын газ шығыны  $G = 820 \text{ кг/с}$ ;
- Газдың шығыс температурасы  $\Theta_d = 625 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- ГТҚ электрлік ПЭК  $\eta_{\text{ГТК}} = 40 \%$ .

Газдардың энтальпиясы температураға тәуелді болады, өйткені энтальпия жүйенің ішкі энергиясының және қысыммен көлемнің көбейтіндісінің қосындысы болып табылады. Газдың энтальпиясын температураның функциясы ретінде көрсету үшін, көбінесе газдың ерекше жылу сыйымдылығын пайдаланады.

Газдардың энтальпиясының температураға тәуелділігін келесі түрде жазуға болады:

$$H(T) = H(T_0) + \int_{T_0}^T C_p(T')dT'$$

мұндағы  $H(T)$  - температура  $T$ -дегі энтальпия;  
 $H(T_0)$  - бастапқы температурадағы энтальпия,  
 $C_p(T')$  - температураға тәуелді көлемдегі тұрақты қысымдағы ерекше жылу сыйымдылығы,  
 $T_0$  - бастапқы температура.

Газдардың энтальпиясына әсер ететін факторлар:

1) Жылу сыйымдылығы ( $C_n$ ): Газдың жылу сыйымдылығы температураға байланысты өзгеріп отырады. Әрбір газ үшін бұл функция әртүрлі болады.

2) Газдың түрі: Идеал газдар үшін, олардың энтальпиясы тек температураға тәуелді, ал нақты газдар үшін қосымша қысым мен көлемді ескеру қажет.

Идеал газ үшін:

Идеал газдың энтальпиясы температураға пропорционалды түрде өзгереді және жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігімен сипатталады.

Егер газ идеал болса, онда энтальпияның температураға тәуелділігі былайша болады:

$$H(T) = H(T_0) + n \cdot \int_{T_0}^T C_p(T')dT'$$

мұндағы  $n$  - газдың моль саны.

Тұрақты жылу сыйымдылығы үшін:

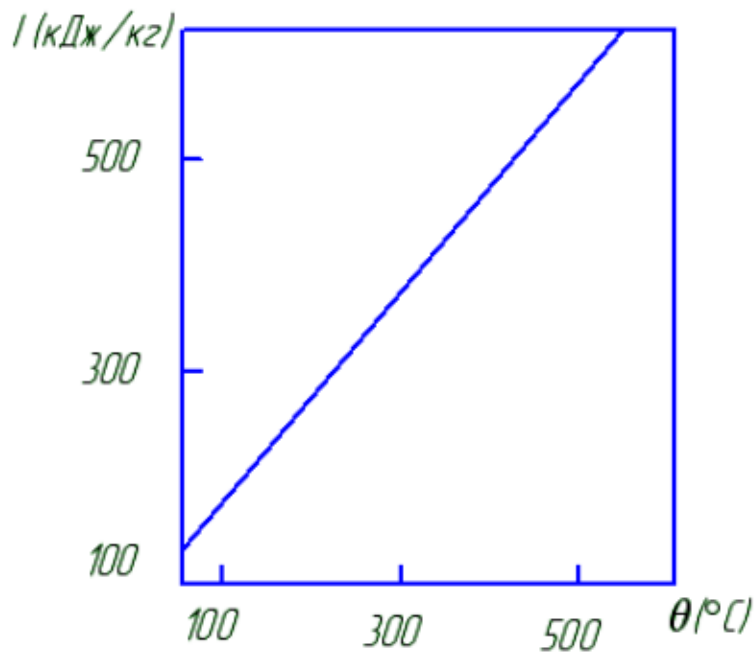
Егер газдың жылу сыйымдылығы тұрақты деп есептелсе ( $C_n = \text{const}$ ), онда интегралды шешкенде келесі теңдеу алынады:

$$H(T) = H(T_0) + n \cdot C_p(T - T_0)$$

Бұл теңдеу газдың энтальпиясының температураға сызықты тәуелділігін көрсетеді.

Газдардың энтальпиясы температураның жоғарылауымен көбейеді, бірақ газдың түріне және жылу сыйымдылығының өзгеруіне байланысты бұл тәуелділік әртүрлі болады.

Газ турбиналық қондырғылардың пайдаланылған газдары атмосфералық ауа мен таза жану өнімдерінің қоспасы болып табылады. 2.5 – суретте газдар энтальпиясының температураға тәуелділігі көрсетілген.



2.5 – сурет- Газдар энтальпиясының температураға тәуелділігі

Сыртқы ауа температурасы  $t_{н.в}=3,3$  °C, қысым  $p_{н.в}=105$  Па (Павлодар қаласы бойынша орташа жылдық мәндер)

Конденсатор қысымы  $p_k = 5$  кПа; рұқсат етілген ылғалдылық  $y_k = 10\%$ .

ҚЖҚ тізбектеріндегі (контурындағы) қысымдар:  $p_0^{в,д}= 12,8$  МПа;  $p_0^{н,д}=0,5$  МПа.

Деаэратордағы қысым  $p^д=0,5$  МПа.

Кестелерден бу мен судың энтальпиясын анықтаймыз [5].

Қажетті температура қысымдары есептеу процесінде нақтыланады.

Әрі қарай есептеулерді жүргізген кезде біз қалдық жылу қазандығы жолының гидравликалық кедергісіне байланысты қысымның төмендеуін, сондай-ақ оның сорғылардағы қысымы жоғарылаған кезде энтальпия мен су температурасының жоғарылауын елемейміз.

Осы диаграмманың негізінде қалдық жылу қазандығының әртүрлі элементтеріне сәйкес келетін жылу және материалдық баланстардың теңдеуін құруға болады. Материалдық баланс теңдеулері ортаның стационарлық ағынын көрсетеді.

Қалдық жылу қазандығы арқылы өте қыздырғыш пен жоғары қысымды буландырғыштың біріктірілген беттері үшін жылу балансының теңдеуі

$$G_{Г}(I_d - I_{эк}^{с,д}) = G_{II}^{с,д}(h_0^{с,д} - h_{эк}^{с,д}) \quad (2.5)$$

мұндағы  $G_{Г}=820$  кг/с – газ турбиналық қондырғыдан шығатын газдардың шығыны;

$I_d=666$  кДж/кг- газ турбиналық қондырғыдан шығатын газдардың энтальпиясы;

$h_0^{B,Д}=3512,1$  кДж/кг –  $p_0^{B,Д} = 12,8$  МПа кезінде қалдық жылу қазандығымен жоғары қысымды аса қыздырғыштан шығатын будың энтальпиясы;

$t_0^B=565$  С;  $h_{ЭК}^{B,Д}=1523,4$  кДж/кг- жоғары қысымды экономайзердің шығысындағы су энтальпиясы (қысым  $p_0^{B,Д}$  қаныққан күйде).

$\delta t_{ЭК}=31$  С температура айырмашылығын таңдап, газдардың температурасын табамыз.

$$\theta_{ЭК}^{6,Д} = t_s + \delta t_{ЭК}$$

$$\theta_{ЭК}^{6,Д} = 330 + 31 = 361 \text{ С}$$

Ал оған сәйкес (2.5-сурет) жоғары қысымды экономайзер алдындағы газдардың энтальпиясы  $I_{ЭК}^{B,Д} = 386,1$  кДж/кг.

(2.5) теңдеуден қалдық жылу қазандығы тудыратын жоғары қысымды бу шығынын анықтаймыз:

$$G_{II}^{6,Д} = \frac{G_I(I_d - I_{ЭК}^{6,Д})}{(h_0^{6,Д} - h_{ЭК}^{6,Д})}$$

$$G_{II}^{6,Д} = \frac{82(666 - 386,1)}{(3512,1 - 1523,4)} = 115,39 \text{ кг/с.}$$

Жоғары қысымды контурлық экономайзер үшін келесі қатынас жарамды болады:

$$G_I(I_{ЭК}^{6,Д} - I_{yx}^{6,Д}) = G_{II}^{6,Д}(h_{ЭК}^{6,Д} - h_d) \quad (2.6)$$

мұндағы  $h_d' = 640$  кДж/кг- деаэратордан келетін қоректік судың энтальпиясы (деаэратордағы қысым  $p^Д = 0,5$  МПа деп есептегенде);

$I_{yx}^{B,Д}$  - жоғары қысымды контурдың жылу алмастырғыштарынан шығатын газдардың энтальпиясы (жоғары қысымды контурдың экономайзерінің артындағы газдардың энтальпиясы), оны келесідей анықтайды:

$$I_{yx}^{6,Д} = I_{ЭК}^{6,Д} - \frac{G_{II}^{6,Д}(h_{ЭК}^{6,Д} - h_d)}{G_I}$$

$$I_{yx}^{6,Д} = 386,1 - \frac{115,39(1523,4 - 640)}{820} = 261,8 \text{ кДж/кг}$$

Бұл газдардың температурасына  $\theta_{yx}^{B,Д}=230$  С сәйкес келеді.

Қалдық жылу қазандығының төмен қысымды тізбегінің аса қыздырғыш пен буландырғыштың біріктірілген беттері үшін:

$$G_{\Gamma}(I_{yx}^{6,\partial} - I_{ГПК}) = G_{\Pi}^{н,\partial}(h_0^{н,\partial} - h_{ЭК}^{н,\partial}) \quad (2.7)$$

Бұл қатынаста  $I_{ГПК}$  газ конденсатын қыздырғыштың (ГПК-ГКҚ) кірісіндегі газдардың энтальпиясы температурамен анықталады:

$$\theta_{ЭК}^{н,\partial} = t_s + \delta t_0^{н,\partial}$$

$$\theta_{ЭК}^{н,\partial} = 152 + 20 = 172 \text{ C}$$

мұндағы  $\delta t_0^{н,\partial} = 20 \text{ C}$  - қысу нүктесінде таңдалған температура айырмашылығы.  $I_{ЭК}^{н,\partial} = 185,8 \text{ кДж/кг}$  етіп аламыз.

Төмен қысымды контурдың шығуындағы будың энтальпиясы контурдағы қысыммен  $p_0^{н,\partial} = 0,5 \text{ МПа}$  және температура  $t_0^{н,\partial} = \theta_{yx}^{н,\partial} - \delta t^{н,\partial} = 230 - 30 = 200 \text{ C}$  анықталады, мұндағы  $\delta t^{н,\partial} = 30 \text{ C}$  температураның қабылданған айырмашылығы.  $h_0^{н,\partial} = 2855,6 \text{ кДж/кг}$  аламыз. Төмен қысымды контурдың барабанындағы су энтальпиясы (қаныққан күйдегі судың  $p_0^{н,\partial}$  қысымдағы энтальпиясы)  $h_0^{н,\partial} = 640 \text{ кДж/кг}$ .

(2.7) теңдеуден қалдық жылу қазандығының төмен қысымды тізбегі арқылы өтетін бу шығынын анықтаймыз.

$$G_{\Pi}^{н,\partial} = \frac{G_{\Gamma}(I_{yx}^{6,\partial} - I_{ГПК})}{(h_0^{н,\partial} - h_{ЭК}^{н,\partial})}$$

$$G_{\Pi}^{н,\partial} = \frac{820(261,8 - 185,8)}{(2855,6 - 640)} = 28,1 \text{ кг/с}$$

Біз газ конденсатын қыздырғышқа кіретін жердегі қоректік судың температурасын қабылдаймыз  $t_{п.в} = 60 \text{ C}$ . Содан кейін ол энтальпия  $h_{п.в} = 251 \text{ кДж/кг}$  сәйкес келеді.

Газ конденсатын жылытқышта және деаэраторда конденсатты жылыту шамамен біркелкі жүзеге асырылады деп есептейміз. Қондырғының газ қыздырғышы үшін су энтальпиясын алайық  $h_{ГПК} = 460 \text{ кДж/кг}$ , ол  $t_{ГПК} = 110 \text{ C}$  температураға сәйкес келеді.

Деаэраторға арналған жылу балансының теңдеуінен

$$(G_{\Pi}^{6,\partial} + G_{\Pi}^{н,\partial} - G^Д) \cdot h_{ГПК} + G^Д h_0^{н,\partial} = (G^{н,\partial} + G^{6,\partial}) h_Д \quad (2.8)$$

Деаэратор үшін бу шығынын табайық:

$$G^D = \frac{(G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д}) \cdot (h_D - h_{ГПК})}{(h_0^{н.д} - h_{ГПК})} = 10,745 \text{ кг/с}$$

Конденсатор мен рециркуляция сызығынан конденсат ағындарының араласу нүктесі үшін жылу балансының теңдеуі

$$(G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D) \cdot h_K + G^P h_{ГПК} = (G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D + G^P) h_{н.с} \quad (2.9)$$

мұндағы  $h_K=138$  кДж/кг – қаныққан күйдегі конденсаттың энтальпиясы.  
 $p_K=5$  кПа, рециркуляция ағынын табуға мүмкіндік береді.

$$G^P = \frac{(G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D) \cdot (h_{н.с} - h_K)}{(h_{ГПК} - h_{н.с})}$$

$$G^P = \frac{(28,1 + 115,4 - 10,745) \cdot (251 - 138)}{(460 - 251)} = 71,236 \text{ кг/с}$$

Газ конденсатын қыздырғышқа арналған жылу балансының теңдеуінен

$$G_T(I_{ГПК} - I_{yx}) = (G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D + G^P) \cdot (h_{ГПК} - h_{н.с}) \quad (2.10)$$

Қалдық жылу қазандығынан шығатын газдардың энтальпиясын анықтаймыз:

$$I_{yx} = I_{ГПК} - \frac{(G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D + G^P) \cdot (h_{ГПК} - h_{н.с})}{G_T} = 133,5 \text{ кДж/кг}$$

Түтін газының температурасы (2.5-сурет)  $\theta_{yx}=124,5$  С.  
 ҚЖҚ (КУ-котлом утилизатором) ПЭК анықтаймыз:

$$\eta_{КУ} = \frac{(I_d - I_{yx})}{(I_d - I_a)}$$

$$\eta_{КУ} = \frac{(666 - 133,5)}{(666 - 6,995)} = 0,81$$

Газ турбиналы газдармен бу турбиналық циклге берілетін жылу

$$Q_{газ} = G_T \cdot (I_d - I_{yx})$$

$$Q_{газ} = 820 \cdot (666 - 133,5) = 436634,9 \text{ кВт}$$

Алынған будың

$$Q_{нар} = G_{II}^{с.д} \cdot h_0^{с.д} + (G_{II}^{н.д} - G^D) \cdot h_0^{н.д} - (G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D) \cdot h_k$$

$$Q_{нар} = 115,4 \cdot 3512,1 + (28,1 - 10,745) \cdot 2855,6 - (115,4 + 28,1 - 10,745) \cdot 137,76 =$$

$$= 436661,5 \text{ кВт}$$

Алынған мәндердегі айырмашылық 0,006% құрайды, бұл есептеулердің дұрыстығын көрсетеді. Болашақта біз бір қалдық жылу қазандығының жылу қуаты  $Q_{ку} = 436648,2 \text{ кВт}$  орташа мәніне тең деп есептейміз.

Қалдық жылу қазандығы арқылы жеке элементтердегі суға (буға) берілетін жылу.

Газ конденсатын жылытқышқа арналған

$$Q_{ГПК} = (G_{II}^{с.д} + G_{II}^{н.д} - G^D + G^P) \cdot (h_{ГПК} - h_{н.с})$$

$$Q_{ГПК} = (115,4 + 28,1 - 10,745 + 71,236) \cdot (460 - 251) = 42887,3 \text{ кВт}$$

Төмен қысымды буландырғыш үшін

$$Q_{исп}^{н.д} = G_{II}^{н.д} \cdot r^{н.д}$$

$$Q_{исп}^{н.д} = 28,1 \cdot 2108,4 = 59347,7 \text{ кВт}$$

мұндағы  $r^{н.д} = 2108,4 \text{ кДж/кг}$ - төмен қысымды аса қыздырғыш үшін  $p_0^{н.д}$  қысыммен анықталатын булану жылуы

$$Q_{III}^{н.д} = G_{II}^{н.д} \cdot (h_0^{н.д} - h_s^{''н.д})$$

$$Q_{III}^{н.д} = 28,1 \cdot (2855,6 - 2748,5) = 3013,9 \text{ кВт}$$

мұндағы  $h_s^{''н.д} = 2748,5 \text{ кДж/кг}$ -  $p_0^{н.д}$  қысымдағы қаныққан будың энтальпиясы, жоғары қысымды экономайзер үшін

$$Q_{ЭК}^{с.д} = G_{II}^{с.д} \cdot (h_0^{с.д} - h_{ЭК}^{с.д})$$

$$Q_{ЭК}^{с.д} = 115,4 \cdot (2855,6 - 640) = 101940,9 \text{ кВт}$$

Жоғары қысымды буландырғыш үшін

$$Q_{исп}^{в.д} = G_{II}^{в.д} \cdot r^{в.д}$$

$$Q_{исп}^{в.д} = 115,4 \cdot 1142,14 = 131786,8 \text{ кВт}$$

мұндағы  $r^{в.д}=1142,1$  кДж/кг- жоғары қысымды аса қыздырғыш үшін  
 $p_0^{н.д}$  қысыммен анықталатын булану жылуы

$$Q_{III}^{в.д} = G_{II}^{в.д} \cdot (h_0^{в.д} - h_s^{в.д})$$

$$Q_{III}^{в.д} = 115,4 \cdot (3512,1 - 2667) = 97514,4 \text{ кВт}$$

мұндағы  $h_s^{в.д}=2667$  кДж/кг-  $p_0^{в.д}$  қысымдағы қаныққан будың  
энтальпиясы, жоғары қысымды экономайзер үшін

Сәйкес келетін салыстырмалы мәндер

$$Q'_{ГПК} = \frac{Q_{ГПК}}{Q_{КУ}} = \frac{42887,329}{436648,230} = 0,098$$

$$Q_{исп}^{н.д} = 0,136; Q_{III}^{н.д} = 0,007;$$

$$Q_{ЭК}^{в.д} = 0,233; Q_{исп}^{в.д} = 0,302; Q_{III}^{в.д} = 0,223.$$

Газ конденсатын жылытқыштар (немесе конденсациялық жылытқыштар) - бұл газды отын ретінде пайдаланатын құрылғылар, олар газды толық жандыру арқылы жылу энергиясын шығарады және конденсация процесін пайдаланып тиімділігін арттырады.

Газ конденсатын жылытқыштың жұмыс принципі

Газ конденсатын жылытқыштар негізінен екі негізгі принципке сүйенеді:

1) Қосымша жылу қалпына келтіру: Жанармайды толық жағу кезінде пайда болатын су буы конденсацияланып, бөлінген жылу конденсаторда қайтадан сіңіріледі. Бұл процес қондырғының тиімділігін арттырады, өйткені газдың су буы конденсацияланғанда оның ішкі энергиясының бір бөлігі (латентті жылу) шығарылады.

2) Температураны төмендету: Газдың жану температурасы төмендетіліп, конденсацияның басталуына мүмкіндік береді. Бұл процесте су буы сұйық күйге ауысып, шығатын газдардың температурасы төмендейді.

Газ конденсатын жылытқыштың артықшылықтары:

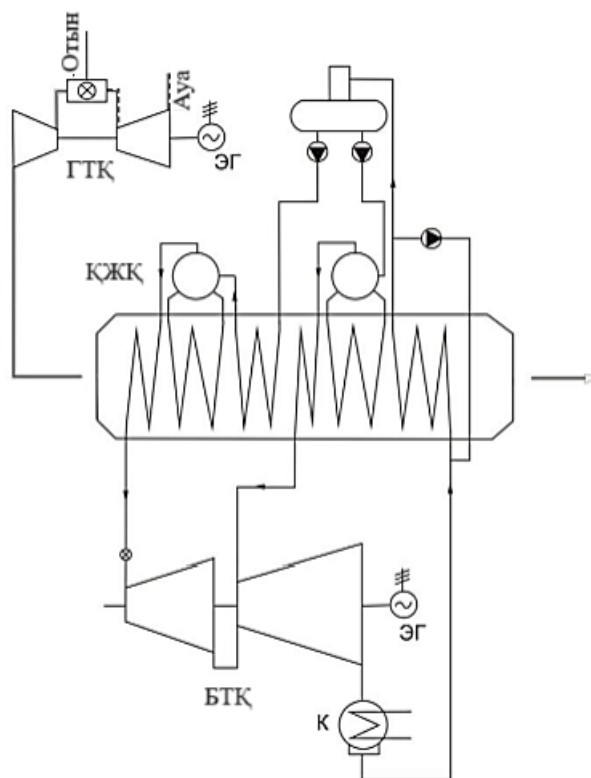
3) Жоғары тиімділік: Газ конденсатын жылытқыштар дәстүрлі жылытқыштарға қарағанда 10-15% тиімдірек жұмыс істейді, өйткені олар қосымша жылуды қайтарып алады.

4) Төмен энергия шығындары: Газды тиімді пайдалану арқасында жылытушының энергия шығындары төмендейді.

5) Экологиялық тиімділік: Конденсациялық технологиялар табиғи газды пайдалануда төмен көмірқышқыл газының бөлінуіне әкеледі.

Газ конденсатын жылытқыштардағы жылу алуды есептеу кезінде жану температурасы мен конденсацияланған су буының жылуын ескеру маңызды. Бұл құрылғылар жылу энергиясын тиімді пайдалануды қамтамасыз етеді, нәтижесінде энергия шығыны мен шығарындылар төмендейді, әрі жалпы тиімділігі жоғары болады.

Қазіргі уақытта ең жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштер екілік аралас циклді газды қалпына келтіру қондырғыларында (ГҚКҚ) табылды, олардың схемалық диаграммасы 2.6 - суретте көрсетілген.



2.6 – сурет- Қос (екі) контурлы қалпына келтіру бу газ қондырғысының схемалық сұлбасы

Әртүрлі типтегі бу газ қондырғыларына арналған шамамен бу параметрлері 2.5 - кестеде келтірілген.

2.5 – кесте- Әртүрлі типтегі бу газ қондырғыларына арналған шамамен бу параметрлері

| БГҚ         | Жоғарғы қысымды бу |                 | Орташа қысымды бу (аралық қызу) |                 | Төменгі қысымды бу |                 |
|-------------|--------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|             | Қысым, МПа         | Температура, °C | Қысым, МПа                      | Температура, °C | Қысым, МПа         | Температура, °C |
| Бір қысымды | 5-8                | 490-540         | -                               | -               | -                  | -               |
| Екі қысымды | 5-8                | 490-540         | -                               | -               | 0,5-0,7            | 200-230         |
| Үш қысымды  | 11-14              | 500-540         | 2-3,5                           | 500-540         | 0,4-0,6            | 200-230         |

Бу газ қондырғыларының жұмысы әртүрлі параметрлерге байланысты, бірақ әрбір тип үшін қолданылатын бу параметрлері шамамен келесі сипаттамалармен анықталуы мүмкін. Бу газ қондырғыларының әртүрлі типтерінде (мысалы, бу қазандықтары, газтурбиналық қондырғылар, бу турбиналары) бу мен газдың температурасы, қысымы, көлемі және басқа да көрсеткіштері түрліше болады. Мұнда әртүрлі типтерге арналған кейбір орташа параметрлерді келтіреміз.

1) Бу қазандықтары (Конденсациялық және жартылай конденсациялық)

Бу қазандықтарында бу негізгі түрде қазандықтағы отынның жануы арқылы дайындалады, содан кейін жылу энергиясы буға айналады.

Шамамен параметрлер:

- Бу қысымы: 4 - 100 бар
- Бу температурасы: 200 - 540 °C
- Су температурасы: 100 - 200 °C (қазандыққа кіру)
- Буның энтальпиясы: 300 - 3500 кДж/кг (жоғары қысымдағы бу үшін)
- Қышқылданған газдардың температурасы: 150 - 250 °C

2) Газтурбиналық қондырғылар (Комбинированные циклдер)

Газтурбиналық қондырғыларда отын (газ немесе сұйық отын) жану камерасында жағылып, газды турбина арқылы өтеді. Алынған ыстық газбен бу өндіріледі, ол бу турбинасында энергияға айналады.

Шамамен параметрлер:

- Газдың температурасы (турбинаға дейін): 900 - 1600 °C
- Газдың қысымы: 10 - 30 бар
- Бу қысымы (бу турбинасына арналған): 40 - 90 бар
- Бу температурасы (бу турбинасы): 500 - 600 °C
- Буның энтальпиясы: 3200 - 4000 кДж/кг

3) Бу турбинасы

Бу турбинасында бу жоғары қысымда және температурада келіп, турбинаның роторын айналдырады, бұл энергияны механикалық жұмысқа айналдырады.

Шамамен параметрлер:

- Бу қысымы: 40 - 120 бар (жоғары қысым)
- Бу температурасы: 450 - 600 °C
- Конденсацияланатын бу қысымы: 0,03 - 0,1 бар (қысым төмендетілуі мүмкін)
- Буның энтальпиясы: 3200 - 3500 кДж/кг (жоғары қысымдағы бу)
- Қалдық газдың температурасы: 100 - 180 °C

4) Қалдық жылуды пайдалану (HRSG — Heat Recovery Steam Generator)

HRSG қондырғылары газтурбиналарының қалдық жылуын пайдаланып бу өндіреді.

Шамамен параметрлер:

- Газдың температурасы (HRSG алдында): 400 - 650 °C
- Бу қысымы: 30 - 90 бар
- Бу температурасы: 350 - 500 °C
- Буның энтальпиясы: 2800 - 3500 кДж/кг

5) Табиғи газбен жұмыс істейтін қондырғылар

Табиғи газды отын ретінде қолданатын бу-газ қондырғылары көбінесе газ турбиналарын және бу турбиналарын біріктіреді.

Шамамен параметрлер:

- Газдың температурасы (турбинаға дейін): 1000 - 1400 °C
- Газдың қысымы: 10 - 30 бар
- Бу қысымы: 40 - 80 бар
- Бу температурасы: 500 - 600 °C
- Буның энтальпиясы: 3000 - 3800 кДж/кг

Бу газ қондырғыларының параметрлері олардың түріне және технологиялық ерекшеліктеріне байланысты айтарлықтай өзгереді. Газтурбиналық қондырғылар мен бу турбиналарының жұмысын оңтайландыру үшін түрлі қысым мен температурадағы бу пайдаланылады. Ең маңыздысы - қондырғының тиімділігін арттыру үшін жылу қалпына келтіру жүйелерінің дұрыс жұмыс істеп, қалдық жылудың қайта қолданылуы.

### **3 БГҚ құрылуының жылу электр станциясының негізгі жылулық схемасын құру**

#### **3.1 ЖЭС схемаларының негізгі құрылымы**

Жылулық схема - электр энергиясын өндірудің технологиялық процесіне қатысатын электр станциясының негізгі және қосалқы жабдықтарының салыстырмалы орналасуының шартты көрінісі. Станцияның схемалық схемасында оның барлық негізгі элементтерінің технологиялық байланысы және олардың электр энергиясын өндірудің технологиялық процесіндегі рөлі көрсетілген. Схемалық схемада бір типті жабдық, резервтік жабдық, резервтік желілер, сондай-ақ жылу балансына әсер етпейтін жабдық көрсетілмейді, мысалы, суды тазарту сүзгілері, ұстағыш резервуарлар және т.б.

Жылу тізбегі будың, қоректік судың және конденсаттың негізгі ағындарының шамасы мен бағытын, сондай-ақ олардың параметрлерін анықтайды.

Жылу электр станциясының схемалық схемасы мыналарды қамтиды:

Жылу электр станциялары (ЖЭС) әртүрлі типтегі схемалар мен құрылымдарға ие болуы мүмкін, бірақ олардың негізгі принциптері мен жұмыс механизмдері ұқсас. Әртүрлі ЖЭС схемаларының негізгі құрылымдарын үш негізгі түрге бөлуге болады: Бу газ қондырғысы (БГҚ), Бу турбины қондырғысы (БТҚ) және қалдықпен жабдықтау жүйелері. Осы схемалардың әрқайсысының ерекшеліктері мен жұмыс принциптерін төменде қарастырайық.

##### **1) Бу Газ Қондырғысы (БГҚ)**

Бу-газ қондырғысы - бұл газтурбиналық және бу турбины қондырғыларын біріктіретін жылу электр станциясының схемасы. Бұл схема газтурбинаның қалдық жылуын пайдаланып, бу турбинында қосымша электр энергиясын өндіреді.

Негізгі құрылымы:

- Газтурбина: Газтурбинында отын (газ немесе сұйық отын) жағылып, жоғары температуралы және қысымды газ шығарылады. Бұл газ турбинаны айналдырып, механикалық энергияға айналады.

- Қалдық жылуды қалпына келтіру жүйесі (HRSG): Газтурбинынан шыққан ыстық газдар арнайы қондырғылар арқылы бу өндіру үшін қолданылады. Осылайша, газтурбинынан шыққан қалдық жылу бу генераторында буға айналады.

- Бу турбины: HRSG арқылы алынған жоғары қысымды бу бу турбинына жіберіліп, одан электр энергиясы өндіріледі.

- Конденсатор: Бу турбинынан шыққан қолданылған бу конденсацияланып, қайтадан сұйық күйге өтеді және қайтадан қазандыққа жіберіледі.

Артықшылығы:

- Қосымша жылу қалпына келтіру арқылы ЖЭС тиімділігі жоғарылайды.

- Газтурбинаның және бу турбинасының қатар жұмыс істеуі жоғары энергия шығынын қамтамасыз етеді.

## 2) Бу Турбинасы Қондырғысы (БТҚ)

Бу турбинасы қондырғысы — бұл ЖЭС схемасы, мұнда барлық энергия тек бу турбинасының жұмысымен өндіріледі. Бұл схемада бу бу қазандықтарынан шығарылады және бу турбинасында электр энергиясына айналады.

Негізгі құрылымы:

- Қазандық: Қазандықта отын (көмір, табиғи газ, мазут) жағылып, су буына айналады.

- Бу турбинасы: Қазандықтан шыққан жоғары қысымды және жоғары температуралы бу бу турбинасына жіберіледі. Турбина бұл буды пайдаланып электр энергиясын өндіреді.

- Конденсатор: Бу турбинасынан шыққан қолданылған бу салқындатылады және сұйық күйге өтеді.

- Қалдық жылу жүйесі: Егер қалдық жылу болса, оны энергияны қайта қалпына келтіру үшін қолдануға болады.

Артықшылығы:

- Бу турбинасы қондырғысы қарапайым және тиімді болып табылады, бірақ газды жағу кезінде толық қуатты пайдалану мүмкіндігі шектеулі болады.

- Бұл қондырғылар көбінесе үлкен электр станцияларында қолданылады.

## 3) Қалдықпен жабдықтау

Қалдықпен жабдықтау - бұл қондырғының қалған жылуды қайта пайдалану немесе энергия өндіру процесінің қалған өнімдерін қолдану схемасы. Қалдық жылуды немесе газды пайдаланудың бірнеше әдісі бар, олар ЖЭС-тің тиімділігін арттыруға көмектеседі.

Негізгі құрылымы:

- Қалдық жылу қалпына келтіру жүйесі (HRSG): Бұл жүйе газ турбинасынан немесе басқа қалдық газ көздерінен шыққан жылуды пайдалануды қамтамасыз етеді. Бұл жылу арқылы бу генераторлары немесе басқа энергия көздері жұмыс істейді.

- Қалдық газдарды пайдаланатын қондырғылар: Қалдық газдар қайтадан жану процесіне жіберілуі мүмкін, бұл қосымша энергия алуға мүмкіндік береді.

- Қалдықтарды жағу қондырғылары: Қалдықтарды (мысалы, органикалық қалдықтар, өнеркәсіптік қалдықтар) жағу арқылы қосымша жылу және электр энергиясын өндіру үшін пайдаланылады.

Артықшылығы:

- Қалдықтардың толық пайдаланылуы энергия өндірудің тиімділігін арттырады.

- Қалдықтарды өңдеу экологиялық тұрғыдан тиімді болып табылады, өйткені оларды шығаруға кеткен шығындар азаяды.

ЖЭС схемаларының қорытындысы

- БГҚ (Бу-Газ Қондырғысы): Газтурбина мен бу турбинының интеграциясы жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді, өйткені қалдық газдардан да энергия алуға мүмкіндік береді.

- БТҚ (Бу Турбины Қондырғысы): Бұл қарапайым схема, мұнда тек бу турбины жұмыс істейді және жоғары қысымды бу электр энергиясына айналады.

- Қалдықпен жабдықтау: Қалдық жылу мен газдарды тиімді пайдалану арқылы қосымша энергия өндіруге болады, бұл қондырғының жалпы тиімділігін арттырады.

Әрбір схеманың тиімділігі қондырғының түріне, отынның сапасына және техникалық сипаттамаларына байланысты әртүрлі болуы мүмкін.

Мысалы, 3.1-суретте екі қысымды қалдық жылу қазандықтары бар қос блокты жоба бойынша жасалған қуаттылығы 450 МВт құрама циклді газ қондырғысының принципіалды сұлбасы көрсетілген.

Бу газ қондырғысы (БГҚ)-450 - бұл қуаты 450 МВт болатын жылу электр станциясының (ЖЭС) типтік бу газ қондырғысы. Бұл қондырғы газ турбины мен бу турбины біріктіріп жұмыс істейді, ал қалдық газды қайта пайдалану арқылы жалпы тиімділікті арттырады. Мұндай қондырғылардағы негізгі жабдықтар төменде көрсетілген.

Бу газ қондырғысының негізгі жабдықтары (БГҚ-450):

Газ турбины (GT). Газ турбины жүйенің негізгі компоненті болып табылады. Ол газ отынын жағу арқылы жұмыс істейді және жылу энергиясын механикалық энергияға түрлендіреді. Газ турбинының қуаты: 150–250 МВт аралығында (қондырғының жалпы қуатына байланысты).

Құрылым: Отын жағу камерасы, турбина, және генератор.

Бу турбины (ST). Газ турбинынан шыққан ыстық газдар бу генераторында (HRSG) буға айналады, одан кейін бу турбинында электр энергиясына айналады. Бу турбинының қуаты: 150–250 МВт.

Құрылым: Турбина, редуктор, және генератор.

Қалдық жылу қалпына келтіру қондырғысы (HRSG - Heat Recovery Steam Generator). HRSG жүйесі газ турбинынан шыққан ыстық газдарды пайдаланып, бу өндіреді. Бу турбины іске қосу үшін жоғары қысымды бу қажет.

Құрылым: Газдан алынатын жылу, су буына айналатын жылу алмастырғыштар және бу қазандықтары.

Функция: Газ турбинынан шыққан қалдық жылуды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

Конденсатор. Бу турбинынан шыққан салқындатылған бу қайтадан сұйық күйге айналуы үшін пайдаланылады.

Құрылым: Су салқындату жүйесі, конденсатор және су айналымы жүйесі.

Функция: Буның салқындап, конденсациялануын қамтамасыз етеді.

Отын Жүйесі (Газ және/немесе Мұнай). Отын жүйесі газ турбинасын және HRSG жүйесін жұмыс істету үшін қажет отынмен қамтамасыз етеді.

Құрылым: Газ тарату жүйесі, отын сақтау қоймалары, және отын тазарту құрылғылары.

Функция: Газ немесе сұйық отынның тұрақты және қауіпсіз жеткізілуін қамтамасыз етеді.

Энергия Бөлу Жүйесі. Электр энергиясын өндіру және оны жергілікті желіге тарату үшін қажет жабдықтар.

Құрылым: Электр тарату панельдері, трансформаторлар, автоматты басқару жүйесі.

Функция: Электр энергиясын генерациялау және оны қажетті орындарға беру.

Газ құбыры жүйесі. Газ турбинасына отын жеткізетін құбырлар мен жүйелер.

Құрылым: Газ құбырлары, редукторлар, және сүзгілер.

Функция: Газдың тұрақты және үздіксіз жеткізілуін қамтамасыз ету.

Қалдық газдарды жою жүйесі. Қалдық газдардың (мысалы, күкірт диоксиді, азот оксидтері және көмірқышқыл газы) шығарындыларын азайту үшін қолданылатын жүйелер.

Құрылым: Сүзгілер, газ тазарту жүйелері.

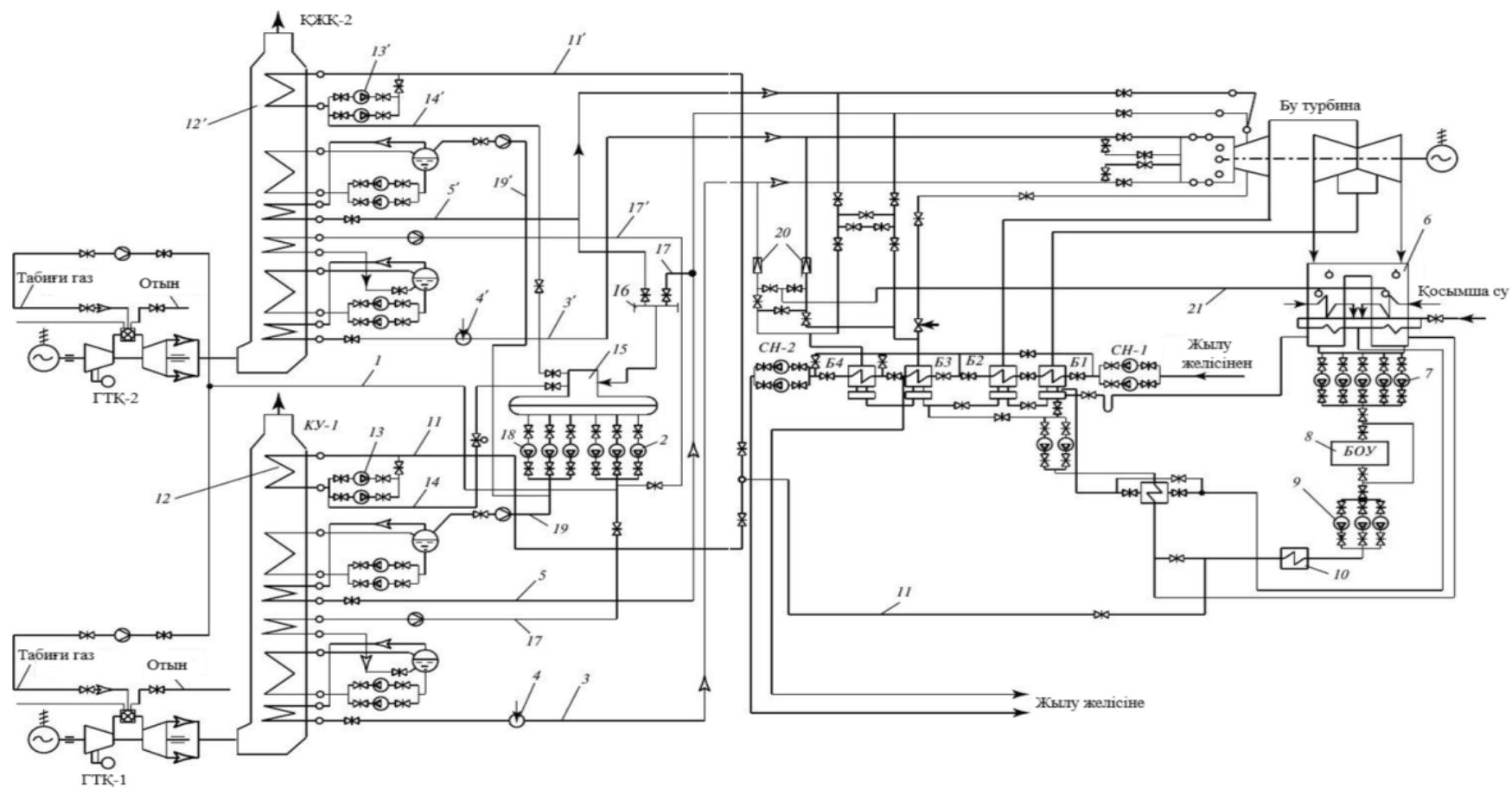
Функция: Қоршаған ортаға зиянды газдардың бөлінуін азайту.

Автоматтандыру жүйесі. Барлық процестерді бақылап, реттейтін автоматтандырылған басқару жүйесі.

Құрылым: PLC жүйелері, бақылау панельдері, датчиктер және байланыс құралдары.

Функция: Қондырғының тиімді жұмысын қамтамасыз ету, қауіпсіздік және ақауларды алдын алу.

БГҚ-450 құрылымында газ турбинасы, бу турбинасы, HRSG, конденсатор және басқа да жүйелер біріктіріліп жұмыс істейді. Қалдық газдарды пайдалану арқылы жалпы тиімділік айтарлықтай артады, ал бу мен газ турбиналарының интеграциясы электр энергиясын өндіруде жоғары тиімділікті қамтамасыз етеді.



3.1 – сурет- Бу газ қондырғысы (БГК)-450 құрылымдық схемасы

3.1 - суреттегі белгіленулер келесідей: 1 – жану камерасына су айдау құбыры (экологиялық айдау); 2 – беру сорғылары; 3 – жоғары қысымды бу құбыры; 4 – бу турбинасы алдындағы бу температурасын ұстап тұру үшін конденсатты айдау; 5 – бу құбыры; 6 – бу турбиналы конденсатор; 7 – бірінші көтергіш конденсат сорғылары; 8 – блокты тұзсыздандыру қондырғысы; 9 – екінші көтергіш конденсат сорғылары; 10 – бу салқындатқышты тығыздау; 11 – конденсатордан газ өңдеу қондырғысына конденсатты беру; 12 – қалдық жылу қазандығы; 13 – рециркуляциялық сорғылар, газ конденсатын қыздырғыш; 14 – конденсат беру газ конденсатын жылытқыштан деаэраторға дейін; 15 – деаэратор; 16 – көмекші коллектор; 17 – жылу қазандығы арқылы жоғары қысымды экономайзерге қоректік суды беру; 18 – төмен қысымды қоректендіру сорғылары; 19 – қалдық жылу қазандығымен төмен қысымды буландырғыш барабанына қоректік суды беру; 20 – Жоғары қысымды барабан; 21 – конденсаторға буды жіберуге арналған бу құбыры.

### 3.2 Қалдық жылу қазандығын есептеу

Қалдық жылу қазандығын есептеу үшін газ конденсатын қыздырғышқа түсетін конденсаттың температурасы,  $t_k^{\text{ГПК}}=60$  С деп есептейміз және барабандарға түсетін қоректік судың төмен салқындауы  $\Delta t_B^{\text{ВД}}=\Delta t_B^{\text{СД}}=5$  С,  $\Delta t_B^{\text{НД}}=10$  С.

Бу шығару тізбектеріндегі белгілі қысымдарға сүйене отырып, барабандардағы қанығу температураларын анықтаймыз:  $t_s^{\text{ВД}}=329,8$  С,  $t_s^{\text{СД}}=264,1$  С,  $t_s^{\text{НД}}=152$  С,

Барабан кірісіндегі судың температурасы

$$t_1^{\text{ВД}} = t_s^{\text{ВД}} - \Delta t_B^{\text{ВД}}$$

$$t_1^{\text{ВД}} = 329,8 - 5 = 324,8 \text{ С}$$

$$t_1^{\text{СД}} = 259,1 \text{ С}, \quad t_1^{\text{НД}} = 142 \text{ С},$$

және сәйкес энтальпиялар (2.5-суреттен)

$$h_1^{\text{ВД}} = 1360,9 \text{ кДж/кг}$$

$$h_1^{\text{СД}} = 1085,6 \text{ кДж/кг}$$

$$h_1^{\text{НД}} = 594,9 \text{ кДж/кг}$$

Барабандардағы қаныққан бу энтальпиялары:

$$(h_s'')^{BD} = 2667,6 \text{ кДж/кг}$$

$$(h_s'')^{CD} = 2794,2 \text{ кДж/кг}$$

$$(h_s'')^{HD} = 2748,1 \text{ кДж/кг}$$

Төмен қысымды барабандағы қоректік су деаэратордан деаэратордан төмен қысымды қоректендіру сорғысы арқылы беріледі, демек, сорғыларда қоректік су қыздырылмайды деген болжамға сәйкес деаэратордағы қаныққан судың энтальпиясы  $(h_s')^D = h_1^{HD} = 594,9 \text{ кДж/кг}$ , бұл қанығу температурасына  $t_s^D = t_s^{HD} = 142 \text{ С}$  және  $p_D = 0,5 \text{ МПа}$  қысымына сәйкес келеді.

Газ конденсатын қыздырғыштың шығысындағы конденсаттың деаэратордағы қанығу күйіне дейін қызуы  $10,6 \text{ С}$  деп алайық. Сонда деаэраторға түсетін конденсаттың температурасы

$$t_k^D = t_s^D - \Delta t_D$$

$$t_k^D = 142 - 10,6 = 131,4 \text{ С}$$

ал энтальпия

$$h_k^D = 4,19 \cdot 131,4 = 550,5 \text{ кДж/кг}$$

Конденсатордағы қысым  $p_k = 5 \text{ кПа}$  конденсаттың энтальпиясына сәйкес келеді  $h_k' = 137,8 \text{ кДж/кг}$ , ал газ өңдеу кешеніне кіретін жердегі конденсат температурасы  $t_k^{ГПК} = 60 \text{ С}$ , энтальпия  $h_k^{ГПК} = 250,2 \text{ кДж/кг}$ .

Жоғары қысымды қоректік будың шығысындағы температура қысымын  $\delta t_0^{BD} = 20 \text{ С}$  деп алайық.

Сонда жоғары қысымды будың температурасы  $t_0^{BD} = 625 - 20 = 605 \text{ С}$ , ал энтальпия болады  $h_0^{BD} = h(12,8 \text{ МПа}, 605 \text{ С}) = 3614,5 \text{ кДж/кг}$ . Қалдық жылу қазандығына кіретін жердегі газдардың энтальпиясы  $I_d = 644,8 \text{ кДж/кг}$  болады.

$\delta t_s^{BD} = 8 \text{ С}$  қабылдаймыз, ондағы газ температурасын аламыз.

$\theta_{sBD} = 329,8 + 8 = 337,8 \text{ С}$  және энтальпию  $I_s^{BD} = 361,6 \text{ кДж/кг}$ .  
 $t_0^{CD} = \theta_s^{BD} = 337,8 \text{ С}$ , оның энтальпиясы  $h_0^{CD} = h(5 \text{ МПа}, 337,8 \text{ С}) = 3035,9 \text{ кДж/кг}$  болады.

$$t_0^{ЦСД} = 560 \text{ С}$$

Жылуды төмендететін орташа қысымды цилиндр (ОҚЦ-ЦСД)

$$h_0^{ЦСД} = h(5 \text{ МПа}; 560 \text{ С}) = 3573,6 \text{ кДж/кг}$$

$$v_{cp} = (v_0 \cdot v_{zt}^{ЦВД})^{0,5} = (0,03 \cdot 0,058)^{0,5} = 0,041 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\eta_{0i}^{ЦВД} = \left( \frac{0,92 - 0,2}{80 \cdot 0,041} \right) \cdot \left( 1 + \frac{417,5 - 700}{2000} \right) = 0,85$$

Жылуды төмендететін жоғары қысымды цилиндр (ЖҚЦ-ЦВД) қолдана отырып

$$\Delta H_i^{ЦВД} = 417,5 \cdot 0,85 = 355,1 \text{ кДж/кг}$$

ЖҚЦ будың энтальпиясы

$$h_z^{ЦВД} = 3614,5 - 355,1 = 3259,4 \text{ кДж/кг}$$

Бу шығынын анықтауға арналған теңдеулер:

$$G_T(I_S^{ВД} - I_S^{СД}) = D_0^{СД} \cdot ((h_S'')^{СД} - h_1^{СД}) + D_0^{ВД} \cdot (h_1^{ВД} - h_1^{СД}) + (D_0^{ВД} - D_{Д}) \cdot (h_0^{ВД} - (h_S'')^{ВД})$$

$$G_T(I_d - I_S^{ВД}) = D_0^{ВД} \cdot (h_0^{ВД} - h_1^{ВД}) + D_0^{ВД} \cdot (h_0^{СД} - h_z^{ВД}) = D_0^{СД} \cdot (h_0^{СД} - (h_S'')^{СД})$$

$$G_T(I_S^{СД} - I_S^{ВД}) = (D_0^{ВД} + D_0^{СД}) \cdot (h_1^{СД} - (h_S')^{ВД}) + D_0^{ВД} \cdot ((h_S'')^{ВД} - h_1^{ВД})$$

$$D_{Д}(h_S'')^{ВД} + (D_0^{ВД} + D_0^{СД} + D_0^{ВД} - D_{Д}) \cdot h_{\kappa}^{ВД} = (D_0^{ВД} + D_0^{СД} + D_0^{ВД}) \cdot (h_S')^{ВД}$$

Температура айырмашылығын  $\delta t_s^{СД}=4,2$  С аламыз, газдардың температурасын орташа қысымды қысу нүктесінде аламыз:

$$\theta_S^{СД} = t_S^{СД} + \delta t_S^{СД}$$

$$\theta_S^{СД} = 264,1 + 4,2 = 268,2 \text{ С}$$

Олардың энтальпиясы  $I_S^{СД} = 287,9 \text{ кДж/кг}$

$\delta t_s^{HD} = 4,4$  C аламыз, төмен қысымды қысу нүктесіндегі газдардың температурасын аламыз.

$$\theta_s^{HD} = t_s^{HD} + \delta t_s^{HD}$$

$$\theta_s^{HD} = 152 + 4,4 = 156,4 \text{ C}$$

$$\text{Олардың энтальпиясы } I_s^{HD} = 169,3 \text{ кДж/кг}$$

Төменгі қысымды контурдың бу температурасы  $t_0^{HD} = \theta_s^{CD} = 268,2$  C, ал оның энтальпиясы  $h_0^{HD} = h(0,5 \text{ МПа; } 268,2 \text{ C}) = 2998,7$  кДж/кг болады.

Алынған мәндерді алмастыру және осы теңдеулер жүйесін шешу (MathCad-та) біз мынаны аламыз:

$$D_0^{BD} = 84,3 \text{ кг/с}, D_0^{CD} = 18,9 \text{ кг/с}, D_0^{HD} = 21,6 \text{ кг/с}, D_d = 2,5 \text{ кг/с}$$

Конденсаторға бу шығыны (ағыны)

$$D_K = D_0^{BD} + D_0^{CD} + D_0^{HD} - D_d$$

$$D_K = 84,3 + 18,9 + 21,6 - 2,5 = 122,3 \text{ кг/с}$$

$$D_P = \frac{D_K \cdot (h_K^{ГПК} - h_K')}{h_K^D - h_K^{ГПК}}$$

$$D_P = \frac{122,3 \cdot (250,5 - 137,8)}{550,5 - 250,5} = 46 \text{ кг/с}$$

Газ конденсатын қыздырғыштың жылу қуаты

$$Q_{ГПК} = (D_K + D_P) \cdot (h_K^D - h_K^{ГПК})$$

$$Q_{ГПК} = (122,3 + 46) \cdot (550,5 - 250,5) = 50513,8 \text{ кВт}$$

Қалдық жылу қазандығының пайдаланылған газдарының энтальпиясы

$$I_{yx}^{KY} = I_s^{HD} - \frac{Q_{ГПК}}{G_\Gamma}$$

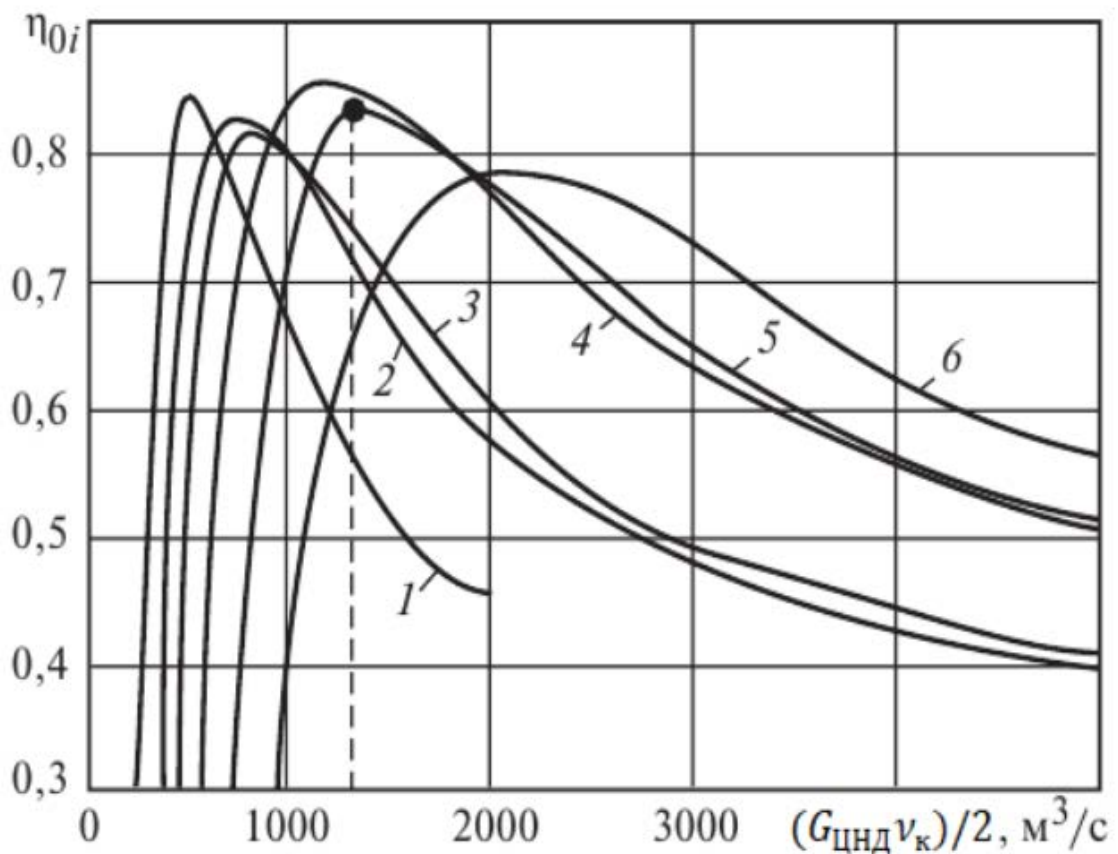
$$I_{yx}^{KY} = 169,3 - \frac{50513,8}{820} = 107,66 \text{ кДж/кг}$$

бұл түтін газының температурасына сәйкес келеді

$$\theta_{yx}^{KY} = 98,3 \text{ C}$$

Сыртқы ауа температурасында  $t_{н.в}=3,3 \text{ C}$ , газдар энтальпиясы  $I_{н.в}=7$  кДж/кг, онда қалдық жылу қазандығының ПӘК:

$$\eta_{KY} = \frac{644,8 - 107,66}{644,8 - 7} = 0,84$$



3.2 – сурет- Бу турбиналарының соңғы сатыларының сипаттамасы (соңғы кезеңнің ішкі тиімділігінің соңғы көлемдік ағынға тәуелділігі):

1 – жұмыс қалақшасының ұзындығы  $l_z = 0,55 \text{ м}$ , тамырлық диаметр,  $d_k = 1,35 \text{ м}$ ; 2 –  $l_z = 0,755 \text{ м}$ ,  $d_k = 1,35 \text{ м}$ ; 3 –  $l_z = 0,755 \text{ м}$ ,  $d_k = 1,52 \text{ м}$ ; 4 –  $l_z = 0,96 \text{ м}$ ,  $d_k = 1,52 \text{ м}$ ; 5 –  $l_z = 1,0 \text{ м}$ ,  $d_k = 1,8 \text{ м}$ ; 6 –  $l_z = 1,2 \text{ м}$ ,  $d_k = 1,8 \text{ м}$

### 3.3 Бу турбинасының қуатын және бу газ қондырғыларының экономикалық көрсеткіштерін анықтау

Бу турбинасының қуатын және бу газ қондырғыларының экономикалық көрсеткіштерін анықтау үшін бірнеше негізгі параметрлерді ескеру қажет. Бұл көрсеткіштер турбина мен қондырғының тиімділігін, шығындарын және пайдалы әсерін бағалауға көмектеседі [13].

Бу турбинасының қуаты

Бу турбинасының қуатын есептеу үшін мынадай негізгі параметрлер қажет:

Бу қысымы ( $P$ ) және температурасы ( $T$ ) - бу турбинасына келетін бу параметрлері.

Бу ағыны ( $m$ ) - турбина арқылы өтетін бу көлемі.

Турбина тиімділігі ( $\eta$ ) - турбинаның жұмыс тиімділігі.

Бу газ қондырғысының экономикалық көрсеткіштері

Бу газ қондырғыларының экономикалық көрсеткіштерін есептеу кезінде негізгі назарда болатын көрсеткіштер:

Қуат тиімділігі ( $COP$ ) - бу газ қондырғысының жұмыс тиімділігін сипаттайды.

Пайдалылық коэффициенті - бұл қондырғының жалпы экономикалық тиімділігін көрсетеді. Ол қондырғының шығындары мен пайдасын салыстырып бағалайды.

Қондырғының жұмыс істейтін кезеңі (жұмыс уақыты) - бұл көрсеткіш қондырғының тиімді жұмыс істейтін кезеңін бағалайды. Әдетте, бұл көрсеткіш ұзақ уақыт бойы жұмыс істегенде, қондырғының пайдасы мен шығындарының арақатынасын анықтауға көмектеседі.

Шығындар - бұл қуат өндіруге байланысты барлық шығындарды қамтиды: отын шығындары, техникалық қызмет көрсету және т.б.

Инвестициялық шығындар - бұл қондырғыны орнату мен іске қосу шығындарын бағалау.

Қосымша факторлар

Отынның құны және оның тиімділігі - энергетикалық жүйелер үшін отын шығындары маңызды болып табылады.

Қоршаған ортаға әсері - экологиялық әсерлер, мысалы, қалдық газдардың шығуы.

Бу газ қондырғыларының тиімділігін бағалау үшін барлық осы көрсеткіштерді жинақтап, салыстыру жасау қажет. Әрбір жобаның өзіндік параметрлері мен талаптары болуы мүмкін, сондықтан осы есептеулер әрқашан нақты жағдайларға байланысты болады.

Механикалық ПӘК ([3] бойынша  $\eta_m=0,99$ , ал БТҚ электр генераторының ПӘК [3] бойынша)  $\eta_{э.г}^{ПГУ}=0,98$ .

БТҚ абсолютті ішкі ПӘК

$$\eta_i^{ПГУ} = \frac{N_i}{Q_{KY}}$$

$$\eta_i^{ПГУ} = \frac{183053}{491421,4} = 0,372$$

ПСУ абсолютті электрлік ПЭК

$$\eta_{\Sigma}^{ПСУ} = \eta_i^{ПГУ} \cdot \eta_{KY} \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Sigma 2}$$

$$\eta_{\Sigma}^{ПСУ} = 0,372 \cdot 0,842 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0,304$$

БГҚ электрлік қуаты

$$N_{\Sigma}^{ПГУ} = N_{\Sigma}^{ГТУ} + N_i^{ПТ} \cdot \eta_M \cdot \eta_{\Sigma 2}$$

$$N_{\Sigma}^{ПГУ} = 375 + 183,053 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 552,6 \text{ МВт}$$

Қондырғының газ турбинасының жану камераларына берілетін жылу

$$Q_{к.с} = \frac{N_{\Sigma}^{ГТУ}}{\eta_{\Sigma}^{ГТУ}}$$

$$Q_{к.с} = \frac{375}{0,4} = 937,5 \text{ МВт}$$

БГҚ абсолютті электрлік ПЭК

$$\eta_{\Sigma}^{ПГУ} = \frac{N_{\Sigma}^{ПГУ}}{Q_{к.с}}$$

$$\eta_{\Sigma}^{ПГУ} = \frac{552,6}{937,5} = 0,59$$

2 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларының тиімділік коэффициенттері - 57% және 3 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары - 59% арасындағы шамалы айырмашылыққа байланысты, 2 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларының есебін қабылдаймыз.

### 3.4 Математикалық модельдеу арқылы көмір шаңын газдандыру процесін зерттеу нәтижелері

Көмір шаңын газдандыру процесі энергия алу мен өнеркәсіптік қолдануда маңызды рөл атқарады. Газдандыру кезінде көмірдің көміртегі мен сутегінің құрамдары ыдырап, газ тәрізді өнімдерге, әсіресе сутегі ( $H_2$ ), метан ( $CH_4$ ), монооксид ( $CO$ ) және көмірқышқыл газына ( $CO_2$ ) айналады. Бұл процесті математикалық модельдеу арқылы тиімділікті арттыру, тұтынатын энергия көлемін азайту және экологиялық әсерді бақылау мүмкін [13-14].

Математикалық модельдеу тәсілдері. Көмір шаңын газдандыру процесін зерттеу үшін әртүрлі математикалық модельдер қолданылуы мүмкін. Бұл модельдер термодинамикалық, кинетикалық және ағындық заңдылықтарды есепке алады. Олар келесі бағыттарда қолданылуы мүмкін:

1) Термодинамикалық модельдер: Бұл модельдер газдандыру процесіндегі жылу алмасуды, химиялық тепе-теңдікті және фазалардың ауысуын есепке алады. Мұндай модельдер негізінен температура мен қысымға байланысты көмір мен газдың химиялық реакцияларын сипаттайды.

2) Кинетикалық модельдер: Көмірдің газдандыру реакциялары әртүрлі жылдамдықпен жүреді, және бұл жылдамдықтарды математикалық тұрғыдан сипаттау үшін кинетикалық модельдер қолданылады. Мұнда химиялық реакциялардың энергиясы мен механизмдері зерттеледі.

3) Ағындық модельдер: Газдандыру процесі көп жағдайда ағынды реакторларда жүреді. Сондықтан, ағынды модельдер көмір шаңының және газдың ағуын, олардың араласуын және реакцияларын сипаттайды.

4) Тұтастай модельдеу: Газдандырудың жалпы моделін құру кезінде түрлі факторлар, соның ішінде жылу өткізгіштігі, массалық ауысулар және реакциялардың динамикасы есепке алынады. Мұндай модельдер көмір шаңының реакцияларға қатысуына, газдың құрамына, температура мен қысымның әсеріне қатысты болжамдар жасауға мүмкіндік береді.

Математикалық модельдер негізінде зерттеу нәтижелері. Көмір шаңын газдандыру процесін модельдеу кезінде түрлі зерттеу нәтижелері алынған. Мысалы:

5) Температураның әсері: Газдандыру температурасының жоғарылауы газдың шығу жылдамдығын және оның құрамындағы энергиялы компоненттерді көбейтеді. Бірақ өте жоғары температуралар кезінде термиялық деструкцияның күшеюі мүмкін, бұл процесс тиімділігінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

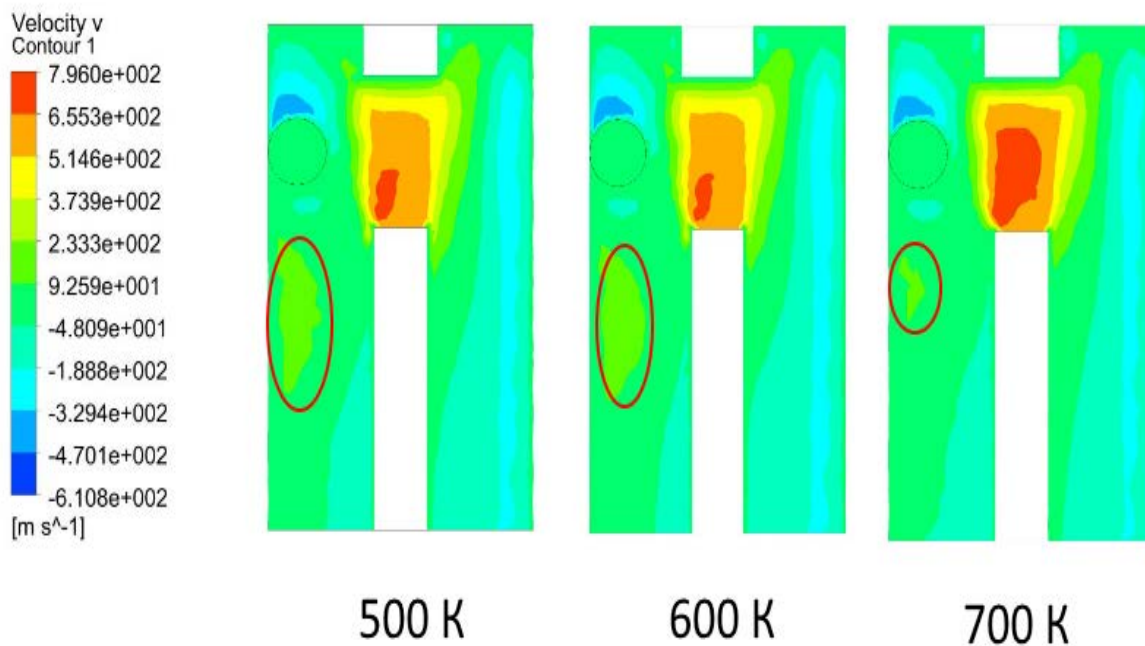
6) Қысымның әсері: Газдандыру кезінде қысымның жоғарылауы реакция жылдамдығын арттыра алады, бірақ ол газдың құрамы мен реактордың өнімділігін шектейді.

7) Газдандыру агентінің әсері: Газдандыру процесінде қолданылатын агенттің (мысалы, су буы немесе көміртек диоксиді) әсері де маңызды. Газдың құрамында жоғары  $CO$  немесе  $H_2$  концентрациясын алу үшін әртүрлі газдандыру агенттерін қолдану тиімді.

8) Энергия тиімділігі: Математикалық модельдер арқылы газдандыру процесінің энергия тиімділігі зерттеледі, бұл энергия шығындарын азайту және экологиялық әсерді бақылау үшін маңызды.

*Көмір шаңының температурасының газдандыру аймағындағы жылдамдық профиліне әсері*

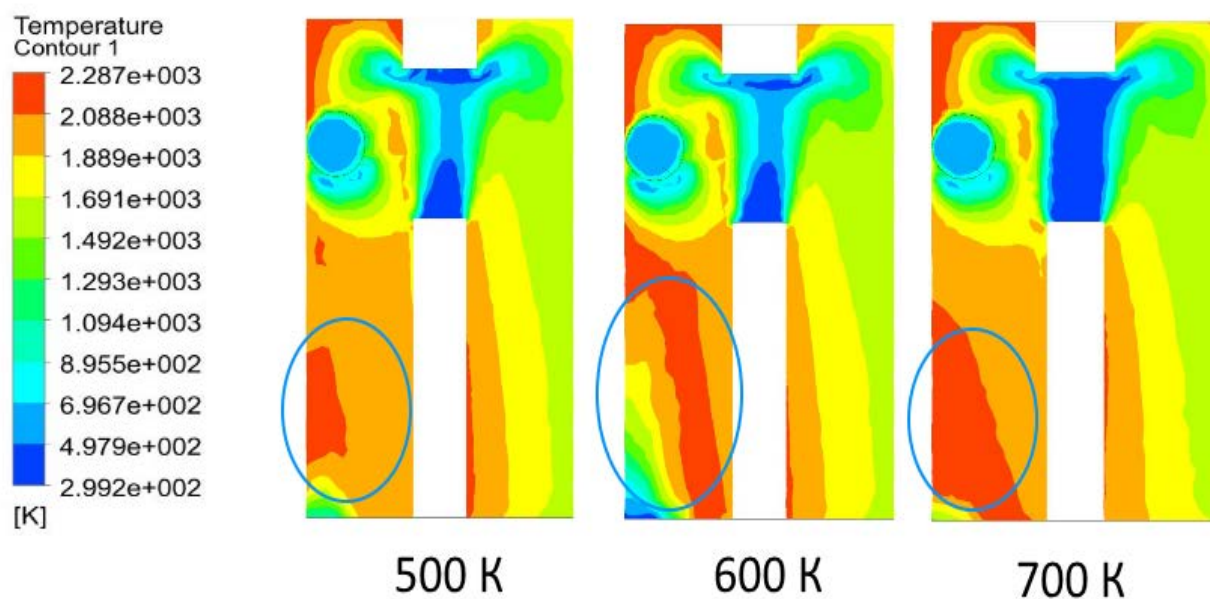
3.3-суретте көмір шаңының әртүрлі температураларындағы бойлық жылдамдық профилідері көрсетілген. Бұл суреттен көрініп тұрғандай, температура көтерілген сайын саптамадан шығатын ауа жылдамдығы артады, бұл көмір шаңының ағынына қарсылықтың төмендеуін көрсетеді.



3.3 – сурет- Көмір шаңының әртүрлі температураларындағы осьтік жылдамдық профилідері

*Газдандыру аймағындағы газдың температуралық профилідеріне көмір шаңының температурасының әсері.*

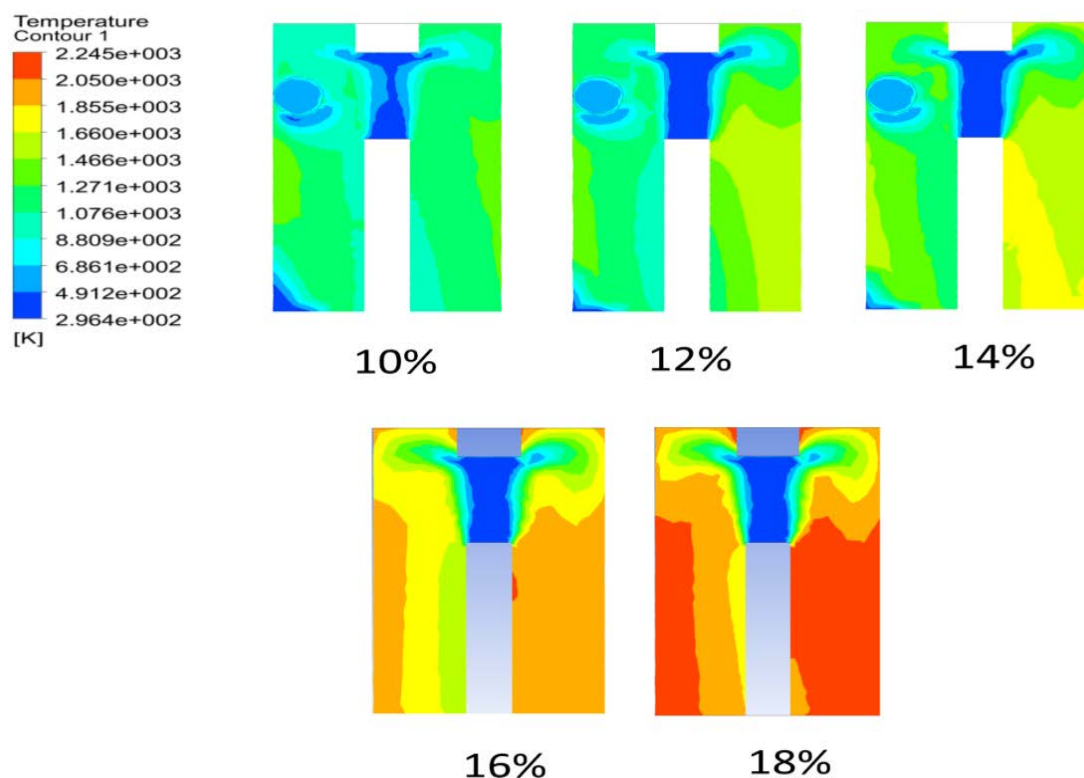
3.4-суретте көмір шаңының температурасына байланысты модель ішіндегі газ температурасының профилідері көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай, көмір шаңының температурасының жоғарылауымен жоғары температура аймағы модельдің шығыс бөлігіне ауысады. Соңғысын жоғары жылдамдықты ағындармен түсіндіруге болады. Қарсылығы аз ауа жоғары температуралы газдарды шығатын жерге қарай итереді.



3.4 – сурет- Көмір шаңының температурасына байланысты температуралық профильдер

*Газдандыру аймағындағы газдардың температурасына отын шығынының әсері*

3.5 - суретте отын шығынына байланысты модель көлеміндегі температуралық профильдер көрсетілген.



1.5 – сурет- Модельдегі газ температурасының отын шығынына тәуелділігі

Күткендей, көмір шаңын тұтынудың артуы жану аймағындағы температураның жоғарылауына әкеледі. Бұл жағдайда отын шығынының артуы жоғары температура аймағының отын қозғалысы бойымен төмен қарай жылжуына әкеледі, ал ауа кері қозғалысқа ие болады. Алынған температураны бөлудің елеулі кемшілігі температуралық жүктемелердің үлкен біркелкі болмауына әкелуі мүмкін жоғары температура аймағының асимметриялық пішіні болып табылады.

Газдандыру процесінде отын шығыны мен газдардың температурасы арасындағы байланыс маңызды рөл атқарады, себебі отын шығыны газдандыру реакциясының тиімділігін, температураны және газдың құрамын өзгертуі мүмкін. Газдандыру процесі негізінен жоғары температура мен отын мен газдың дұрыс араласуын талап етеді, сондықтан отын шығыны газдардың температурасын қалай өзгертуі туралы түсінік маңызды [15].

Отын шығынының газдар температурасына әсері:

Отын шығынының артуы. Температураның көтерілуі: Егер отын шығыны артса, онда реакцияда жиі көбірек энергия бөлінеді, бұл газдардың температурасын арттырады. Газдандыру процесі термохимиялық реакциялар болғандықтан, отынның көп бөлігі энергия көзі ретінде жұмыс істейді. Бұл әсіресе реактордың ішкі температурасын көтеруге, сонымен қатар газдың құрамында жану өнімдерін көбейтуге ықпал етеді.

Кейбір жағдайларда энергияның ысырап болуы: Егер отын тым көп қолданыла бастаса, реактордың ішіндегі температура тым жоғары болып, термиялық ысыраптар пайда болуы мүмкін, бұл кейбір реакциялар үшін тиімділікке теріс әсер етуі мүмкін.

Отын шығынының төмендеуі. Температураның төмендеуі: Отын шығыны азайса, газдандыру процесінің жылу көзі азаяды, және бұл газдардың температурасын төмендетеді. Осылайша, реакцияның баяулауы және көмірдің толық газдандырылмауы мүмкін. Мұндай жағдайда газдың құрамындағы өнімдердің (мысалы, CO, H<sub>2</sub>) мөлшері азаюы мүмкін, себебі қажетті температура деңгейі жетпей қалады.

Газдандыру процесінің нашарлауы: Температураның төмендеуі, әсіресе газдандырудың бастапқы кезеңдерінде, көмірдің көміртегі мен сутегін толық ажыратуына жол бермейді. Осыған байланысты, газдың энергетикалық құрамының төмендеуі мүмкін, бұл оның тиімділігін азайтады.

Отын шығынының оптималды деңгейі. Температура мен тиімділіктің тепе-теңдігі: Газдандыру процесінде температураның оптималды деңгейін сақтау өте маңызды. Отын шығынының артуы газды жоғары температураға жеткізу үшін қажет болса да, өте жоғары температуралар реакциялардың тепе-теңдігін бұзып, қосымша энергияны ысырап етуі мүмкін. Сондықтан отын шығынының оптималды деңгейін таңдау маңызды.

Экологиялық аспектілер: Газдандырудағы отын шығынын арттыру экологиялық әсерлерді күшейтуі мүмкін, себебі бұл CO<sub>2</sub> шығарындыларының көбеюіне әкелуі ықтимал. Сондықтан отын шығынын тиімді басқару, экологиялық стандарттарға сәйкес келу үшін өте маңызды.

Газдың температурасы мен отын шығынының арасындағы теңгерімді сақтау. Газдандыру процесінде газдың температурасын реттеу үшін отын шығынының дұрыс балансын сақтау керек. Бұл төмендегідей тәсілдермен қамтамасыз етілуі мүмкін:

Қысым мен температураның бақылауы: Газдандыру реакторында қысым мен температураны үнемі бақылап отыру, газдың құрамын реттеу және реакцияның тиімділігін арттыру үшін маңызды.

Реактор дизайны: Реактордың дұрыс жобалануы, оның ішінде жылу алмасу жүйелерінің тиімділігі отын шығыны мен газдың температурасын оптималды деңгейде ұстап тұруға көмектеседі.

Газдандыру агентін таңдау: Газдандыру агентінің таңдалуы да отын шығынына және температураның көтерілуіне әсер етеді. Мысалы, су буы немесе көміртек диоксиді сияқты агенттер газдың температурасын реттеуге ықпал етуі мүмкін [16].

Газдандыру процесіндегі отын шығыны газдардың температурасын тікелей әсер етеді. Отынның көп шығыны температураны көтерсе де, оның артығымен шығындалуы термиялық ысыраптарды тудырып, тиімділікті төмендетуі мүмкін. Керісінше, отын шығынының азаюы температураның төмендеуіне және газдандыру процесінің әлсіреуіне алып келуі мүмкін. Сондықтан отын шығыны мен газдың температурасы арасындағы балансты дұрыс сақтау - газдандырудың тиімділігін, экологиялық әсерін және экономикалық тиімділігін қамтамасыз ету үшін өте маңызды.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Солтүстік Қазақстан облысында ұсынылып отырған қуаттылығы 550 МВт болатын БГҚ жобасы Қазақстан Республикасының өнеркәсібі үшін стратегиялық бағдарлама болып табылатын 2050 жылға дейінгі электр энергетикасы саласын дамыту бағдарламасының негізінде әзірленген

Қазіргі уақытта бу газ қондырғыларын тек газбен ғана емес, көмір сияқты қатты отынмен де жұмыс істеуге болатын сияқты.

Солтүстік Қазақстанда табиғи газдың үлкен қоры болмағандықтан және Батыс Қазақстаннан табиғи газды тасымалдау мүмкін емес болғандықтан, көмірді циклдік газдандыруға жүгіну қажеттілігі туындады. Егер көмір өндірудің дәл осындай қарқыны сақталса (жылына 115,6 млн. тонна), Қазақстандағы барланған қорлар ғана тағы бірнеше ғасырға жетеді. Солтүстік Қазақстанда Қазақстандағы ең ірі көмір кен орны – Екібастұз көмір бассейні (барланған қоры 10 млрд. тонна) бар.

2 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларының тиімділік коэффициенттері -57% және 3 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары -59% арасындағы шамалы айырмашылыққа байланысты, жобаның негізі ретінде 2 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғыларының есебі қабылданды. Үш тізбекті қалдық жылу қазандығының құрылғысы екенін ескере отырып күрделірек, сондықтан бұл жабдыққа қызмет көрсету және сатып алу құны 2 тізбекті қалдық жылу қазандығымен салыстырғанда жоғары.

Газдандыру реакторының есебі 2 контурлы қалдық жылу қазандығы бар бу газ қондырғылары негізінде жасалды. Газдандыру реакторын есепке алғанда бу газ қондырғыларының ПӘК (реакторға жұмсалатын энергия шығындары) 45,5%-ға тең болды, бұл дәстүрлі станциялардың ПӘК-нен жоғары дәрежелі тәртіп.

Көмір шаңын газдандыру процесін математикалық модельдеу бұл процесті тиімді басқаруға, экологиялық әсерді азайтуға және энергия шығындарын төмендетуге мүмкіндік береді. Әртүрлі модельдер температура, қысым, реактор типі мен газдандыру агентін есепке ала отырып, оптималды жұмыс параметрлерін табуға көмектеседі.

Математикалық модельдеу және осы саланың әзірленген математикалық моделі жақсы нәтижелерді көрсетті.

## ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Масленников В.М., Штеренберг В.Я. Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва. Высокоэкономичная парогазовая установка для совместного производства электроэнергии и тепла. Журнал «Теплофизика высоких температур», 2011, том 49, выпуск 5, с.777-781
- 2) Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк [и др.]; М.: Издательство: МЭИ, 2008. – 558 с.
- 3) Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Цанев С.В., Буров В.Д., Ремизов А.Н. Под ред. Цанева С.В. – 2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
- 4) Steam Generators For Combined Steam and Gas Turbine Plants//Naval Engineers Journal//December 1968//Volume 80, Issue 6, Pages 835–988.
- 5) Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 584 с.
- 6) Economic Evaluation of Flexibility in the Design of IGCC Plants with Integrated Membrane Reactor Modules//Juzheng Zhang, Michel-Alexandre Cardin, Nikolaos Kazantzis, Simon K. K. Ng1and,Y. H. Ma Fellow, AIChE//Systems Engineering// March 2015, Volume 18, Issue 2, pages 208–227.
- 7) Трухний А.Д., Петрунин С.В. Расчет тепловых схем парогазовых установок утилизационного типа: Методическое пособие по курсу «Энергетические установки». –М.: Издательство МЭИ, 2001. – 24 с.
- 8) Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В.Кузнецова и др.,-М., Энергия, 1973. – 296 с.
- 9) Цанев С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; под. ред. С. В. Цанева. – М.: Издательство МЭИ, 2002 – 584 с.
- 10) Буров В. Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В. Д. Буров, Е. В. Дорохов, Д. П. Елизаров и др.; под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. – 3-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с
- 11) СТО 70238424.27.100.007–2008. Парогазовые установки. Условия поставки. Нормы и требования. – М.: НП «ИНВЭЛ», 2008.
- 12) Комиссаров К.Б., Лутков С.А., Филь А.В.- Комплексная очистка дымовых газов теплогенерирующих установок. Ростов на Дону.: Филиал ФГОУ ВПО, 2007. - 134с.
- 13) Belosevic S., Beljanski V., Tomanovic I.D., Numerical Analysis of NOx Control by Combustion Modifications in Pulverized Coal Utility Boiler// Energ. Fuel. – 2012. - №26(1). - P. 425-442.
- 14) Егорова Л.Е., Росляков П.В., Буркова А.В., Чжун Б. Математическое моделирование и расчет эмиссии токсичных продуктов сгорания органических топлив // Теплоэнергетика. – 2013. – № 7. – С. 63–68

15) Зельдович Я.Б. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. – 654 с.

16) Некоторые пути модернизации действующих ТЭЦ по газотурбинной и парогазовой технологиям / Б.В. Яковлев, А.С. Гринчук, Ю.М. Шнайдерман // Энергия и Менеджмент. – 2008. – Ноябрь – Декабрь. С.34-39.

17) СТ КазННТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазННТУ