

**Ф.Х. Тулубаев, Б.К. Калиев**

# **ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ НЕГІЗДЕРІ**



**Қостанай, 2022**

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті

Машина жасау кафедрасы

Ф.Х. Тулубаев, Б.К. Калиев

## **ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ НЕГІЗДЕРІ**

Оқу құрал

Қостанай, 2022

УДК 621.1.016

ББК 31.3

**Құрастырған:**

Тулубаев Фарит Харисович, машина жасау кафедрасының аға оқытушысы.

Калиев Бейбит Кансбаевич, машина жасау кафедрасының аға оқытушысы.

**Пікір берушілер:**

ҚИНЭУ ғылым және инновациялар жөніндегі проректоры, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор

Курманов Аяп Конлямжанович, машина жасау кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының докторы, профессоры,

Рыспаев Куаныш Сабыржанович, машина жасау кафедрасының PhD докторы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор.

Тулубаев Ф.Х., Калиев Б.К.

Т 71 Жылу техникасы негіздері: Оқу құрал.– Қостанай: А. Байтұрсынов атындағы ҚӨУ, 2022.-69 б

ISBN 978-601-356-165-3

6B07103 «Технологиялық машиналар және жабдықтар» инженерлік-техникалық білім беру бағдарламасының студенттеріне арналған. Қостанай: А.Байтұрсынов атындағы ҚӨУ, 2022 – 67 б.

«Жылу техникасы негіздері» оқу құралы кіріспе бөлімнен, пән бойынша теориялық материалдың он бес бөлімінен және студенттердің материалды бекіту үшін кейінгі бақылау сұрақтарымен әр бөлімнен тұрады. Бұл оқу құралы 6B07103 «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» білім беру бағдарламасының бакалавриат студенттеріне арналған.

ББК 31.3

Т 71

А. Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университетінің оқу-әдістемелік кеңесімен бекітілді және басып шығаруға ұсынылды,  
29.04.2022 ж., хаттама №3

ISBN 978-601-356-165-3

© Байтұрсынов атындағы  
Қостанай өңірлік университеті  
© Тулубаев Ф.Х., Калиев Б.К., 2022

## Мазмұны

Кіріспе.....	5
Тақырып 1 Жылу техникасының теориялық негізі және техникалық термодинамика.....	6
Тақырып 2 Термодинамиканың бірінші заңы .....	10
Тақырып 3 Идеал газдардың термодинамикалық процестері .....	15
Тақырып 4 Термодинамиканың екінші заңы .....	27
Тақырып 5 Компрессорлар .....	32
Тақырып 6 Іштен жану қозғалтқышы (ІЖҚ) .....	36
Тақырып 7 Газтурбиналық қондырғылар циклы .....	39
Тақырып 8 Буқұштік қондырғылардың циклдары, Ренкин циклы .....	42
Тақырып 9 Жылу алмасу теориясының негізі .....	45
Тақырып 10 Бір қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштік, көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштік .....	48
Тақырып 11 Шағылу .....	51
Тақырып 12 Отын және жанудық негізгі теориялары .....	54
Тақырып 13 Пеш қондырғылары .....	57
Тақырып 14 Пеш қондырғыларының жылу балансы .....	59
Тақырып 15 Пеш қондырғыларының көмекші құралдары .....	62
Қорытынды .....	67
Қолданылған әдебиеттер тізімі .....	68

## Кіріспе

Қазіргі кезде, арнаулы жоғарғы білім беруді қайта құру, мемлекетіміздің аса маңызды міндеттерінің бірі болып есептеледі. Мемлекетіміздің әлеуметтік - экономикалық дамуын жеделдетудің, бағдарламалық мақсатын шешу, болашақ мамандардың техникалық және технологиялық даярлығын, түбірімен жақсарту талабын алға қойып отыр. Олай болса, жоғарғы және арнаулы орта оқу орындарының оқушыларына арнап, мемлекет тілінде жаңа оқулықтар мен көмекші құралдарды және оқу әдістемелік қолданбалы әдебиеттерді түсінікті, ғылыми жоғарғы деңгейде жазып, оны тарату өте маңызды мәселе.

Осыған орай, жоғарғы техникалық оқу орындарының, инженерлік мамандарына ұсынылып отырған, «Жылу техникасы негіздері» пәннің жоғарғы техникалық оқу орындарының студенттеріне арналып жазылды.

Қазіргі кездегі, жылулық технология негізін адамдардың кез келген іс-әрекет шеңберінде, жылулықты пайдалану мақсаты өте ерекше дамуда.

Жылулық - бұл табиғаттың беретін байлығы және оны тыңғылықты дұрыс пайдалануын үйрену - негізгі мақсаты, оның негізгі заңдылығын түсіну, оны алудағы басқару процессін, тасымалдауы мен жылулықты пайдалану. Жылу динамикасы және жылу-масса алмасу туралы ілім – ол, осы заңдылықты зерттейтін ғылым саласы болып табылады.

## **Тақырып 1: Жылу техникасының теориялық негізі және техникалық термодинамика**

**Мақсаты:** Күй параметрін және оның модификациясын күй теңдеуі көмегімен анықтау.

### **Жоспар:**

- 1 Жалпы мағлұмат;
- 2 Термодинамикалық жүйе;
- 3 Термикалық параметрлер күйі;
- 4 Күй теңдеуі.

1 Термодинамика – макроскопиялық теңдік жүйесінде жүретін және жүйеден теңдік күйге ауысу жағдайындағы жылу қозғалысының заңдары (термо) және олардың басқа қозғалыс түріне ауысу (динамика) заңдары туралы ғылым.

Қарастырылып отырған сұрақтар шеңберінде техникалық және химиялық термодинамика, биологиялық жүйелер термодинамикасы және басқа жүйелерге ажыратылады. Термодинамика жылудың және жұмыстың, осы өзара ауысу заңдылықтарын, сонымен қатар осы ауысуларға қатысатын денелердің қасиеттерін, әр түрлі аппараттар және қондырғылардағы, жылу және тоңазытқыш машиналарында жүретін жылу процесстерін оқытады.

Термодинамика жылу техникасының қажеттілігінен пайда болды. XIX ғ., жылу қозғалтқыштарын қолдану ғылым алдында мынадай талаптар қойды: жылу машиналар жұмысының теориясын оқу және олардың пайдалы әсер коэффициентін арттыру жолдарын анықтау. Техникалық термодинамика негізінде жылу қозғалтқыштарын, компрессорлық машиналарын, тоңазытқыш қондырғыларын, бөлменің ауа ауысымын, ауа кондиционерімен, ауыл шаруашылық өнімдерін құрғату және сақтау есептері және жобалау жүргізіледі.

Жылу қозғалысы микробөлшектердің өзара әсеріне және қозғалысына негізделген. Материя қозғалысының жылуын оқытудың екі формасы белгілі. Статистикалық физика әдісі физикалық жүйелердің молекулярлық моделіне негізделген және математикалық ықтималдық теориясының мүмкіншіліктерін қолданады. Феноменологиялық деп аталатын термодинамикалық әдіс күй жүйесінің өзгерісін анықтайтын макроскопиялық параметрлер арасында байланыс орнатады.

Термодинамика тәжірибелік жолмен алынған екі заңға негізделген.

Термодинамиканың бірінші заңы термодинамикалық жүйеге қатысты энергияның ауысу және сақталу заңын орнатады.

Термодинамиканың екінші заңы энергияның жылу беру сапасын көрсетеді және қайтымды және қайтымсыз процессте энтропия өзгерісімен байланысты.

Термодинамикалық жүйе деп жылу және механикалық әсерде жүретін материалды дене жиынтығын айтамыз, яғни термодинамикалық теңдіктегі макроскопиялық жүйелер.

Қоршаған ортада энергия алмасу және зат алмасу жүрмейтін жүйені оқшауланған жүйе деп аталады (жабық). Егер жүйеде ішкі ортамен жылу алмасу жүрмесе, онда оны жылу оқшауланған немесе адиабаталық жүйе деп аталады.

Термодинамикалық жүйе жұмыс денесінен (газдар, ауа, бу) және жылу көздерінен тұрады.

Молекулалар және молекула көлемінің арасында күштің өзара әсеріндегі газдар иделды немесе нақты газдар деп аталады, яғни өзара әсерсіз нүктелер жүйесінің қасиеттері бар газдар.

Макроскопиялық өлшемдер, яғни берілген моменттегі жүйе күйін анықтайтын өлшемдер, күй параметрі деп аталады. Күй параметрінің термиялық және калориялық түрлері бар. Термиялық күй параметріне абсолютті қысым  $p$ , меншікті көлем  $v$  және абсолютті температура  $T$ ; ал калориялық күй параметріне ішкі энергия, энтальпия  $h$  және энтропия  $s$  жатады.

Жүйедегі дене массасына немесе бөлшектер санына тәуелсіз параметрлер интенсивтідеп аталады (мысалы, қысым, температура); ал жүйедегі массаға немесе бөлшектер санына мәндері пропорционал параметрлер аддитивті немесе экстенсивті деп аталады (энергия, энтропия және т.б.).

Қысым - хаотикалық қозғалатын (реттелмеген қозғалыс) жұмыс денесінің микробөлшектерінің соғылу нәтижесі. В соответствии с молекулярлық-кинетикалық теория негізінде газ қысымы мына теңдеумен анықталады.

$$p = \frac{2}{3} n m \overline{\omega^2} / 2 \quad (1.1)$$

мұндағы  $n$  - молекула саны;

$T$  - молекула массасы;

$\omega^2$  - молекула қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы.

Қысым Паскальмен өлшенеді, яғни.  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ . Тәжірибеде көбінесе мына өлшемдерді қолданады:  $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$  и  $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$ .

Қысымды өлшеуге - манометр, барометр және вакуумметр қондырғылары қолданылады.

Абсолютті қысым мына қатынастан табылады:  $p = p_{\text{ман}} + B$ , ( $B$  - барометрлік қысым,  $p_{\text{ман}}$  - манометр көрсеткіші) немесе  $p = B - p_{\text{вак}}$  ( $p_{\text{вак}}$  - вакуумметр көрсеткіші).

Газдардың молекулярлық-кинетикалық теориясы негізінде температура  $T$  жұмыс денесінің бөлшектер қозғалысына пропорционалды.

$$kT = \frac{2}{3} m \overline{\omega^2} / 2 \quad (1.2)$$

мұндағы  $k$  – Больцман тұрақтысы,  $1,380662 \cdot 10^{-23}$  Дж/К тең.

Температура тек қана термодинамикалық теңдік жүйесінде болады, олар бір – бірімен әсерлеспейді, яғни температура термодинамикалық теңдік параметрі болып табылады.

(1.2) теңдеуінен табылатын температура термодинамикалық деп аталады (абсолютті).

Термодинамикалық температура ұғымы термодинамиканың екінші заңынан шығады. Абсолютті температура шкаласы үшін есептік екі нүкте бар. Есептеу алдында абсолютті нөлді алады, бұл кезде молекуланың жылулық қозғалысы тоқтатылады. Есептеудің басқа нүктесі (судың үштік нүктесінің температурасы, яғни мұз, су және бу, осы үш фаза арасындағы теңдік - температурасы)  $273,16$  К ( $0,01^\circ\text{C}$ ) тең. Қатынасы  $1/273,16$  термодинамикалық температура шкаласы бойынша есептеудің екі нүктесі арасындағы интервалы, К (Кельвин). Температураны сонымен қатар Цельсия шкаласы бойынша өлшейді, мұнда нөл ретінде мұздың еру температурасын алады,  $100^\circ\text{C}$ -қа  $101325$  Па қысым кезінде судың қайнау температурасын алады. Термодинамикалық температура  $T$  (К) және Цельсия температурасы  $t$  ( $^\circ\text{C}$ ) арасындағы байланыс мынадай:

$$T = t + 273,15$$

Температураны өлшеу үшін сұйықтық термометрді, термопарды, пирометрді және басқа да құралдарды қолданады.

Меншікті көлем  $v$  – бұзаттың бірлік массасын алатын көлем. Массасы  $m$  және көлемі  $V$  біртекті көлем үшін меншікті көлем мына формуламен анықталады

$$v = V / m$$

Меншікті көлемге кері өлшем -дененің тығыздығы  $\rho = 1/v$ , бұдан  $\rho v = 1$ . Меншікті көлемнің өлшем бірлігі  $\text{м}^3/\text{кг}$ , ал тығыздықтың өлшем бірлігі –  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Термодинамикалық жүйелердің теңдігі үшін термиялық параметрлер арасында күйдің термиялық теңдеуі деп аталатын функционалды байланыс орнатылған. Температураны  $T$ , сыртқы параметрлерді және ішкі энергияны байланыстыратын теңдеулерді күйдің калориялық теңдеуі деп аталады. Егер күйдің термиялық және калориялық теңдеуі белгілі болса, онда термодинамиканың бірінші және екінші заңдары арқылы жүйенің барлық термодинамикалық қасиеттерін анықтауға болады.

Идеал газдардың күй теңдеуі:

$$pV = mRT \tag{1.3}$$

1 кг газ үшін



$$pV = RT \quad (1.4)$$

мұндағы  $R$  - газ тұрақтысы, Дж/(кг К).

Идеал газ күйінің теңдеуінен табамыз:

$$p(\partial v / \partial T)_p = \partial / \partial T (RT) = R \quad (1.5)$$

Газ тұрақтысы - бұл тұрақты көлемдігі 1 кг идеал газдың және температураның 1 К өзгеру жұмысы.

Егер (1.3) теңдеудегі -  $\mu$  ауыстырсақ, мұндағы  $\mu$  - газдың молярлы массасы, және  $V_\mu = \mu v$  ескерсек, онда Клапейрон — Менделеев теңдеуін аламыз

$$pV_\mu = R_\mu T, \quad (1.6)$$

мұндағы  $V_\mu$  - жұмыс денесінің молярлы көлемі, м<sup>3</sup>/кмоль; қалыпты физикалық жағдайда  $V_\mu = 22,4$  м<sup>3</sup>/кмоль;  $R_\mu = \mu R$  - әмбебап газ тұрақтысы.

Егер (1.6) теңдеуін нақты физикалық шарттар үшін жазсақ, онда

$$R_\mu = pV_\mu / T = 101 \cdot 325 \cdot 22,4 / 273,15 = 8314 \text{ Дж/(кмоль К)}.$$

1 кг нақты жұмыс денесінің газ тұрақтысы мынаған тең:

$$R_\mu = 8314 / \mu \quad (1.7)$$

**Әдебиеттер:** 2, б.3-27; 5, б.6-11; 7, б.5-27.

#### **Бақылау сұрақтар:**

1. Термодинамика нені оқытады?
2. Термодинамикада қандай күй параметрлері бар?
3. Қысымды өлшеуге арналған құралдар?
4. Меншікті көлем неге тәуелді?
5. Күй теңдеуін жаз. Күй теңдеуінің модификациясы?
6. Универсалды газ тұрақтысы нешеге тең?

## Тақырып 2: Термодинамиканың бірінші заңы.

**Мақсаты:** термодинамиканың бірінші заңының теңдеуін шығару және осы заң көмегімен энергиялар арасындағы байланысты анықтауды студенттерге үйрету.

### Жоспар:

1. Ішкі энергия.
2. Жұмыстың аналитикалық өрнегі.
3. Қайтымды және қайтымсыз процесстер.
4. Жылу сыйымдылығы.
5. Термодинамиканың бірінші заңының аналитикалық өрнегі.

1 Термодинамиканың бірінші заңы энергияның сақталу және айналу заңының жалпы заңдылығы болып табылады.

Ішкі энергия.

Ішкі энергия деп денеде немесе дене жүйісіндегі барлық энергияны айтады. Бұл энергияны әр энергия қосындысы ретінде жазуға болады:

$$u = u_{кин} + u_{пот} + u_0 \quad (2.1)$$

мұндағы  $u_{кин}$  - молекуланың кинетикалық энергиясы;

$u_{пот}$  - молекуланың потенциалды энергиясы;

$u_0$  - температурасы абсолютті нөл кезіндегі ішкі энергия мөлшері.

Ішкі энергияның абсолютті мәнін анықтау мүмкін емес, сондықтан  $u_0 = 0$ .

Кинетикалық энергия температураға ғана тәуелді, ал әлеуетті энергия меншікті көлемге де тәуелді болуы мүмкін.

Ішкі энергия қасиеті:

1. Ішкі энергия күй функциясы болып табылады.
2. Ішкі энергия өзгерісі процесс жолына тәуелді емес және тығыздық берілген бастапқы және ақырғы күймен анықталады.

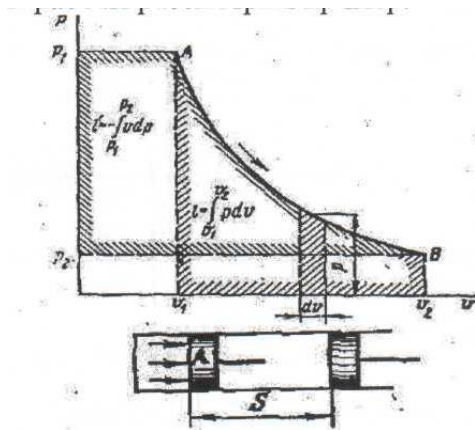
$$\Delta u = u_2 - u_1 = f(P_2, v_2, T_2) - f(P_1, v_1, T_1)$$

3. Айналым процесстерде  $\Delta u = u_2 - u_1 = \int du = 0$ .

2 Жұмыстың аналитикалық өрнегі.

Жұмыс денесі көлемінің өзгеруімен байланысты бір денеден екінші дееге энергияны беру процессін жұмыс деп атайды.

Жасалған жұмыс  $P$ ,  $V$ ,  $T$  параметрлерінің өзгерісіне тәуелді. Жұмыс теңдеуін шығару үшін мысал қарастырайық.



Сурет 2.1 – Жұмыс процессінің анализі

Поршенді цилиндрде теңдік процессінде қоршаған орта қысымына және  $V$  меншікті көлемге тең  $P$  қысымды газ болсын, поршен ауданы  $F$ .

Егер газға жылу мөлшерін жіберсек, онда ол тұрақты қысым кезінде кеңейеді. Поршенге әсер ететін күш  $P \cdot F$  тең,  $S$  жол (орын ауыстыру). Жұмыс мына формуламен анықталады:

$$dl = P \cdot F \cdot ds \quad (2.2)$$

$$F \cdot ds = dv \rightarrow dl = P \cdot dv,$$

онда 1-2 процесстегі жұмыс

$$l = \int_1^2 P \cdot dv \text{ (Дж/кг)} \quad (2.3)$$

Қасиеттері:

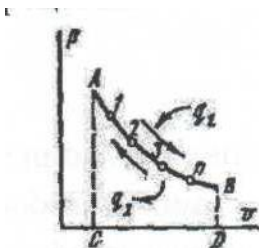
1.  $dv > 0 \rightarrow dl > 0$ ;  $dv < 0 \rightarrow dl < 0$ ;  $dv = 0 \rightarrow dl = 0$

2.  $dv > 0 \rightarrow$  кеңею процессі,

3.  $dv < 0 \rightarrow$  сығылу процессі,

4.  $dv = 0 \rightarrow$  жұмыс жасалмайды.

3. Жұмыс  $P-V$  диаграммадағы қисық процесс ауданына тең.



Сурет 2.2 – Қайтымды және қайтымсыз процесстер

А-В газдың кеңею процессін қарастырайық. Бұл процессте қандайда бір масштабта ABCD ауданмен берілген жұмыстың кеңеюі алынды. Жұмыс денесін бастапқы күйге (нүкте А) келтіру үшін, В нүктесінен қайтымды процесс-сығылу процессін жүргізу қажет. Егер сығылу процессіндегі шығындалған жұмыс тура процесстегі кеңею жұмысына тең болса, онда тура процесстегі барлық нүктелер кері процесстермен сәйкес келеді. Жұмыс денесінде немесе қоршаған ортада тура және кері бағытта жүреті мұндай процесстер қайтымды деп аталады. Тепе-теңсіздік күйде өтеті әр бір термодинамикалық процесс термодинамиканың қайтымсыз процессі деп аталады.

Кеңею кезінде газ максималды жұмыс жасайды:

$$l_{обр} = \int_{v_1}^{v_2} P \cdot dv$$

мұндағы  $P$  – ішкі орта қысымына тең жұмыс денесінің қысымы.

Газдың кеңеюі кезінде  $l_{обр} > l_{необр}$ , сығылу кезінде керісінше,  $l_{обр} < l_{необр}$ .

Қайтымды процесстер ғана графикалық болуы мүмкін, өйткені бұл диаграммадағы әр нүкте дененің тепе-теңдік күйін сипаттайды. Үйкелумен және жылу берумен сипатталатын процесстер қайтымсыз болып табылады. Бірақ көптеген қайтымсыз процесстердің қайтымды процесстерден айырмашылығы аз және тәжірибеде қайтымды процесстерді қайтымсыз процесстерге ауыстыру номограмма, диаграмма және т.б. көмегімен жүргізіледі.

Жылу сыйымдылығы.

Дененің жылу сыйымдылығы деп дені 1 градусқа қыздыру үшін қажетті жылу мөлшерін айтады. Жылу сыйымдылығының 5 түрінажыратады:

1. Нақты жылу сыйымдылығы – дене күйінің азғантай өзгерісі кезінде денеге хабарланатын жылу мөлшерінің  $\delta Q$ ,  $dT$  температура өзгерісіне қатынасы:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \frac{Дж}{К}, \quad (2.4)$$

2. Меншікті жылу сыйымдылығы деп – заттың бірлік санына қатысты жылу сыйымдылығын айтады:

$$C = \frac{\delta q}{dT}, \frac{Дж}{кг \cdot К}, \quad (2.5)$$

мұндағы  $\delta q$  - мешікті жылу.

3. Бір кило моль зат мөлшеріне қатысты жылу сыйымдылығын молярлы жылу сыйымдылығы деп атайды:

$$c_{\mu} = c \cdot \mu, \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}, \quad (2.6)$$

мұндағы  $\mu$  - заттың молярлы массасы.

4. Қалыпты жағдайда  $1\text{м}^3$  көлемді газға қатысты жылу сыйымдылығын көлемдік жылу сыйымдылығы деп атайды (қалыпты жағдайда  $P = 101325 \text{ Па}$ ,  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ):

5. Берілген процесстің орташа жылу сыйымдылығы -  $\Delta t$  ақырғы температура өзгерісіне сәйкес келетін дененің жылу сыйымдылығы.

Жылу сыйымдылығының қасиеттері:

1. Жылу сыйымдылығы жіберілген немесе алынған жылу кезіндегі термодинамика сипаттамасына тәуелді.

2. Жіберілген немесе алынған жылусыз (адиабаталық процесс) жылу сыйымдылығы 0 тең.

3. Термодинамикалық процесстер үшін, тұрақты көлем кезінде жылу сыйымдылығы  $C_v$ , деп, ал тұрақты қысым кезінде  $C_p$  деп белгіленеді.  $C_p$  және  $C_v$  теңдеуін байланыстыратын теңдеуді Майер теңдеуі деп аталады:

$$c_p - c_v = R \quad (2.7)$$

мұндағы  $C_{\mu p} - C_{\mu v} = R\mu = 8314,2$

$C_{\mu p}$  және  $C_{\mu v}$  мәндері 2.1 кестеде берілген.

Кесте 2.1 – Тұрақты қысым кезіндегі молдік жылу сыйымдылығы  $C_{\mu p}$  және тұрақты көлем кезіндегі жылу сыйымдылығы  $C_{\mu v}$

Газдар	Жылу сыйымдылығы кДж/(моль/К)	
	$C_{\mu p}$	$C_{\mu v}$
Бір атомды	12,56	20,93
Екі атомды	20,93	29,31
Үш және көп атомды	29,31	37,68

$C_p$  - ң  $C_v$  қатынасын Пуассон коэффициенті немесе адиабата көрсеткіші деп атайды:

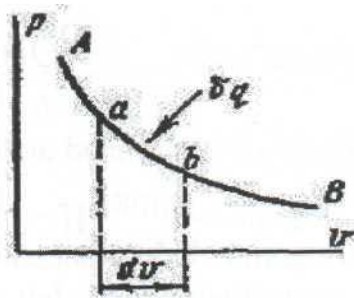
$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (2.10)$$

$\kappa$  заттағы атомдар санына тәуелді. кейбір мәндері 2.2 кестеде берілген.

Кесте 2.2 – Адиабата көрсеткішінің кейбір мәндері (Пуассон коэффициент)

Газдар	$\kappa$
Бір атомды	1,667
Екі атомды	1,41
Үш және көп атомды	1,29

### 5. Термодинамиканың бірінші заңының аналитикалық теңдеуі



Сурет 2.3 – Термодинамиканың бірінші заңы

$ab$  участкесінде 1 кг денеге  $\delta q$  жылу мөлшері жіберілсін, онда дененің температурасы және көлемі сәйкесінше  $dT$  және  $dv$  өседі, бұл дененің ішкі энергиясының  $\delta u$  өсуіне әкеледі. Бұл кезде  $-dl$  сыртқы күшті жою үшін дене жұмыс жасайды. Энергияның сақталу және айалу заңына сәйкес

$$\delta u = \delta q - dl \quad (2.11)$$

$$\text{немесе } \delta q = \delta u - dl \quad (2.12)$$

**Әдебиеттер:** 2, бет. 51-57; 5, бет. 11-18; 7, бет.45-62.

#### Бақылау сұрақтар:

1. Жұмыс ұғымына анықтама бер.
2. Жұмыс қандай параметрлерге тәуелді?
3. Жұмыстың негізгі қасиеттерін ата.
4. Қайтымды процесстің қайтымсыз процесстен айырмашылығы?
5. Жылу сыйымдылығы дегеніміз не?
6. Жылу сыйымдылығының негізгі түрлерін ата.
7. Термодинамиканың бірінші заңына сәйкес жылу не тең?

### Тақырып 3: Идеал газдардың термодинамикалық процестері.

**Мақсаты:** газдардың идеалды процестерін үйрену, әр процестегі параметрлер күйін анықтау.

#### Жоспар:

1. Процестерді зерттеудің жалпы сұрақтары
2. Изохоралық процесс
3. Изобаралық процесс
4. Изотермиялық процесс
5. Адиабаталық процесс
6. Политропты процесс

#### 1 Процесстерді зерттеудің жалпы сұрақтары.

Термодинамиканың бірінші заңы жылу мөлшері, газдың сыртқы жұмысы және ішкі энергия өзгерісі арасында байланыс орнатады. Жіберілген немесе алынған жылу процеске байланысты.

Теориялық зерттеулерде, сонымен қатар техникадағы тәжірибелік жұмыстарда қолданылатын негізгі процесстер мыналар: изохоралық - тұрақты көлемде жүретін процесс, изобаралық – тұрақты қысымда жүретін процесс, изотермиялық – тұрақты температурада жүретін процесс, адиабаталық – сыртқы ортамен жылу алмасу жүрмеген кездегі процесс.

Сонымен қатар, белгілі бір шарттарда негізгі процесстер үшін ортақ процесстер – политропты процесстер бар.

Зерттеудің жалпы әдестері барлық процесстерге бекітілген, олар мыналарға негізделген:

1.  $P$ - $V$ - және  $T$ - $S$  диаграммаларында процесстің қисық теңдеуі шығарылады;
2. Процесстің басында және соңында жұмыс денесінің негізгі параметрлері арасында байланыс орнатады;
3. Меншікті газдың барлық процесстеріне арналған формула бойынша ішкі энергия өзгерісін анықтау

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_{t_1}^{t_2} c_v dt = c_v \int_0^{t_2} dt - c_v \int_0^{t_1} dt$$

немесе тұрақты жылу сыйымдылығы кезінде:

$$u_2 - u_1 = c_v (t_2 - t_1)$$

Жұмыс және газ көлемінің өзгерісі негізгі формула бойынша анықталады:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} f(v) dv$$

Меншікті жылу мөлшері мына формуламен анықталады:

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c_x dt = c_x \int_0^{t_2} dt - c_x \int_0^{t_1} dt$$

Идеал газдардың барлық процесстеріне арналған формула бойынша меншікті энтальпия өзгерісі мына формуламен анықталады:

$$i_2 - i_1 = c_p \int_0^{t_2} dt - c_p \int_0^{t_1} dt$$

немесе тұрақты жылу сыйымдылығы үшін:

$$i_2 - i_1 = c_p \cdot (t_2 - t_1)$$

Идеал газдардың меншікті энтальпия өзгерісі мына формуламен анықталады:

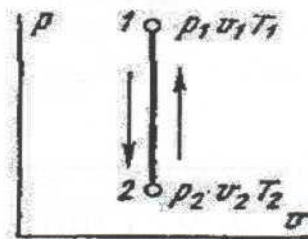
$$s_2 - s_1 = c_v \ln T_2 / T_1 + R \ln v_2 / v_1$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln T_2 / T_1 + R \ln p_2 / p_1$$

Қарастырылған процесстер қайтымды болып табылады.

2 Изохоралық процесс.

Тұрақты көлемде жүретін процесс изохоралық деп аталады ( $dv = 0$ , немесе  $v = \text{const}$ ). 3.1 суретте изохоралық процесстің графигі берілген.



Сурет 3.1 - P-V диаграммадағы изохоралық процесс бейнеленген.

Идеал газдың күй теңдеуінен  $pv = RT$ ,  $v = \text{const}$  кезінде мынаны аламыз



$$p/T = R/v = f(v) = const$$

Тұрақты көлем кезінде газ қысымы абсолютті температураға тура пропорционалды өзгереді:

$$p_1/p_2 = T_1/T_2 \quad (3.1)$$

$v = const$  кезінде газдың сыртқы жұмысы нөлге тең, өйткені,  $dv = 0$ .  
Осыдан,

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv = 0$$

Меншікті сыртқы жұмыс  $l'$  мына формуламен анықталады:

$$l' = \int_{p_1}^{p_2} v dp = v(p_2 - p_1)$$

$$l' = p_1 v - p_2 v$$

Термодинамиканың бірінші заңының негізгі формуласы (2.12)  
 $\delta l = 0$  кезінде мынадай түрге келеді

$$\sigma q_v = au_v = c_v dt$$

Жылу сыйымдылығы тұрақты кезінде жылу мөлшері

$$q_{v,1-2} = \int_{t_1}^{t_2} (\partial u / \partial t)_v dt = \int_{t_1}^{t_2} c_v dt = c_v (t_2 - t_1) = u_2 - u_1$$

Жылу сыйымдылығы ауыспалы кезінде 1-2 процессте

$$q_{v,1-2} = u_2 - u_1 = c \int_0^{-t_2} t_2 - c \int_0^{-t_1} t_1 \quad (3.2)$$

Қайтымды изохоралық процессте меншікті энтальпия өзгерісі мына теңдіктен анықталады:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln T_2/T_1 + R \ln v_2/v_1$$

$v = const$  кезінде  $\ln v_2/v_1 = 0$ , сондықтан жылу сыйымдылығы тұрақты болған жағдайда меншікті энтропия өзгерісі мынаған тең:

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} (\partial s / \partial T)_v dt = c_v \ln T_2/T_1 = c_v \ln p_2/p_1 \quad (3.3)$$

$TS$  - диаграммасындағы изохора 1-2 қисығы болып табылады (сурет. 3.1). 1-2 қисығына жанама сызық оның әр нүктесінде нақты жылу сыйымдылығын береді  $c_v$ .

2 – нүктедегі жанама аналитикалық изометрия ережесі бойынша мынаған тең:

$$3-4 = T(ds/dt = \delta q_v/dT = c_v$$

Әр түрлі көлемді изохоралар, бір температурада бұрыштық коэффициенті бірдей, эквидистантты қисықтар болып табылады.

Әр түрлі көлемдер үшін құрылған изохоралар  $T = const$  кезінде мына формуламен анықталады (сурет 3.2):

$$\Delta s = s_a - s_2 = R \ln v_a/v_2$$

### 3 Изобаралық процесс.

Тұрақты қысым кезінде жүретін процесс изобаралық деп аталады ( $dp = 0$ , немесе  $p = const$ ).

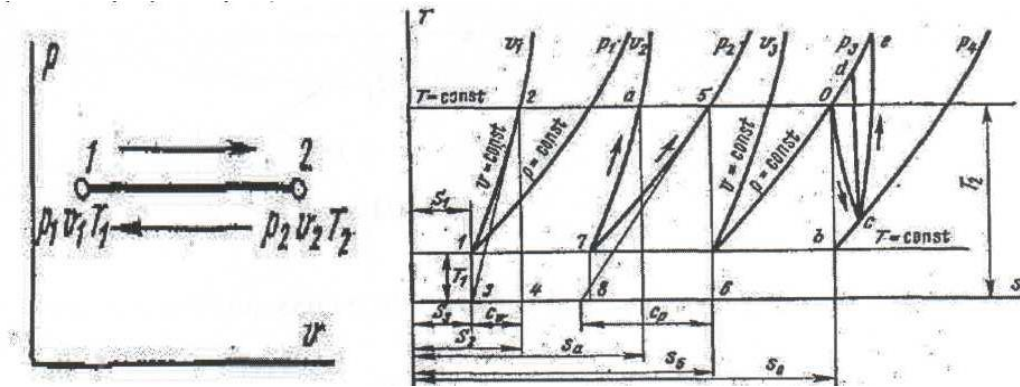
Процесс қисығы изобара деп аталады. 2 суретте процесс графигі бейнеленген.

Идеал газ күйінің теңдеуінен изобаралық процесс үшін

$$v/T = R/p = \varphi(p =)const$$

Бұл қатынас Гей-Люссак заңы деп аталады. 2 процесс үшін

$$v_1/v_2 = T_1/T_2 = p_2/p_1 \quad (3.4)$$



Сурет 3.2 - P-V және T-S диаграммаларындағы изобаралық процесс.

Бір мөлшерлі газдардаң көлемі изобаралық процессте абсолютті температураға тура пропорционалды өзгереді.

Газ кеңейген кезде оның температурасы өседі, ал сығылған кезде төмендейді.

Осыдан көлемнің өзгерген меншікті жұмысы мына теңдеумен өрнектеледі:

$$l = p \int_{v_1}^{v_2} dv = p(v_2 - v_1) \quad (3.5)$$

немесе

$$l = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1) \quad (3.6)$$

Меншікті сыртқы жұмыс

$$l' = - \int_1^2 v dp = 0$$

Меншікті ішкі энергияның өзгерісі

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c(t_2 - t_1)$$

$p = const(dp = 0)$  кезіндегі термодинамиканың бірінші заңының теңдеуі мына түрде болады

$$\delta q_p = c_p dt = di$$

Осыдан, тұрақты жылу сыйымдылығы кезіндегі изобаралық процессте денеге хабар беретін меншікті жылу мөлшері мынаған тең

$$q_{p,1-2} = \int_{t_1}^{t_2} (di/dt)_p dt = \int_{t_1}^{t_2} c_p dt = c_p(t_2 - t_1) = i_2 - i_1 \quad (3.7)$$

ауыспалы жылу сыйымдылығы кезінде

$$q_{p,1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c_p dt = c_p \int_0^{t_2} dt - c_p \int_0^{t_1} dt = i_2 - i_1 \quad (3.8)$$

$p(v_2 - v_1)$  тең  $q_{p,1-2}$  меншікті жылу мөлшерінің хабарланған бөлігі кеңею жұмысына айналады, ал екінші бөлігі дененің меншікті ішкі энергиясының ұлғаюына әкеледі.

Тұрақты жылу сыйымдылығы кезіндегі қайтымды изобаралық процесс үшін меншікті энтропия өзгерісі мына теңдеуден анықталады:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln T_2 / T_1 - R \ln p_2 / p_1$$

бірақ  $p = const \ln p_2 / p_1 = 0$  кезінде

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} (\partial s / \partial T)_p dT = \int_{T_1}^{T_2} (c_p / T) dT = c_p \ln T_2 / T_1 = c_p \ln v_2 / v_1 \quad (3.9)$$

Ts- диаграммасындағы изобара 7-5 қисығымен бейнеленген (сурет 3.2). 7-5 қисығының жанамасы оның әр нүктесінде нақты жылу сыйымдылығының мәнін  $c_p$  береді. 5 – нүкте үшін жанама

$$8-6 = T(ds/dT) = \delta q_p / dT = c_p$$

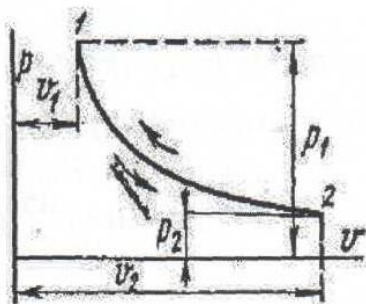
Бір температурада бұрыштық коэффициенті бірдей барлық изобаралар эквидистантты қисықтар болып табылады.  $T = const$  кезінде әр түрлі көлемді изобаралар арасындағы көлденең арақашықтықтар мына теңдеуден анықталады (3.9), (сурет 3.2):

$$\Delta s = s_0 - s_5 = R \ln p_5 / p_0$$

Изобаралар арасындағы арақашықтық қысымға және газ табиғатына байланысты екенін соңғы теңдеуден көруге болады. Газ қысымы неғұрлым үлкен болса, изобара соғұрлым координат өсіне жақынырақ орналасады.

#### 4 Изотермиялық процесс

Тұрақты температура кезінде жүретін процессті изотермиялық деп атайды ( $T = const$ , немесе  $dT = 0$ ) (сурет. 3.3).



Сурет 3.3 - P-V және T-S диаграммаларындағы изотермиялық процесс

Идеал газдардың изотермиялық процессі үшін

$$pv = RT = \psi(T) = const$$

немесе

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \text{ и } p_1 / p_2 = v_2 / v_1 \quad (3.10)$$

Тұрақты температура кезінде газ көлемі оның қысымына пропорционалды өзгереді (Бойль-Мариотта заңы).

P-V диаграммасында изотермиялық процесс теңбүйірлі гиперболоид түрінде беріледі.

$T = const$  кезіндегі термодинамиканың бірінші заңының негізгі теңдеуі қарапайым түрге келеді:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv,$$

изотермиялық теңдеуден  $p v = p_1 v_1$ , немесе  $p = p_1 v_1 / v$ , сондықтан

$$l = p_1 v_1 \int_{v_1}^{v_2} dv / v$$

Соңғы теңдеуді интегралдау арқылы мынаны аламыз:

$$l = p_1 v_1 \ln v_2 / v_1 = q \quad (3.11)$$

(3.11) теңдеуінен идеал газдың меншікті жұмысын және сыртқы меншікті жылу мөлшерін анықтайды. Ондық логарифмге ауыссақ, онда

$$\begin{aligned} q = l &= 2,3 p_1 v_1 \lg v_2 / v_1 = 2,3 p_1 v_1 \lg p_1 / p_2 = \\ &= 2,3 RT \lg v_2 / v_1 = 2,3 RT \lg p_1 / p_2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Меншікті жұмыс  $l'$  мына формула бойынша анықталады

$$l' = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = p_1 v_1 \int_{p_1}^{p_2} dp / p = p_1 v_1 \lg p_1 / p_2 \quad (3.13)$$

яғни идеал газдың изотермиялық процессінде  $l' = l = q$ . Изотермиялық процессте жылу сыйымдылығы мына формуламен анықталады:

$$c_T = \delta q / dT = \delta q / 0 = \pm \infty$$

Идеал газдың энтальпиясы және ішкі энергиясы өзгермейді, яғни  $di = 0$  және  $du = 0$ .

$Ts$  - диаграммасында изотермиялық процесс абсцисса өсіне параллель түзумен бейнеленеді (сурет 3.2). Меншікті энтропия өзгерісі:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln T_2 / T_1 + R \ln v_2 / v_1$$

$$s_2 - s_1 = R \ln v_2/v_1 \text{ и } s_2 - s_1 = R \ln p_1/p_2 \quad (3.14)$$

Изотермиялық процесстегі меншікті жылу мөлшері  $T$  абсолютті температурада меншікті энтропия өзгерісіне тең  $(s_2 - s_1)$ :

$$q = T(s_2 - s_1)$$

#### 5 Адиабаталық процесс

Жылу берусіз жүретін процесс, яғни жұмыс денесінің қоршаған ортамен жылу алмасусыз жүретін процесс адиабаталық деп аталады. Адиабаталық процессті алу үшін қажетті шарт:  $\delta q = 0$ , осыдан  $q = 0$ .

Термодинамиканың бірінші теңдеуінен  $\delta q = 0$  болса, онда

$$c_p dT - v dp = 0 \text{ және } c_v dT + p dv = 0$$

Бірінші теңдеуді екіншісіне бөлсек, онда  $c_p dT / c_v dT = -v dp / p dv$  немесе  $k dv / v = -dp / p$ .

$k = \text{const}$  ( $c_p = \text{const}$  және  $c_v = \text{const}$ ) ескере отырып соңғы теңдеуді интегралдау арқылы мынаны аламыз

$$k \int_{v_1}^{v_2} dv / v = - \int_{p_1}^{p_2} dp / p \text{ және } k \ln v_2/v_1 = \ln p_1/p_2$$

$$(v_2/v_1)^k = p_1/p_2 \text{ немесе } (v_2/v_1)^k = p_1/p_2$$

осыдан адиабата теңдеуі

$$pv^k = \text{const} \quad (3.15)$$

Адиабаталық процесстегі газ қысымы мен көлемінің  $k$  дәрежесі тұрақты шама.  $k$  шамасын адиабата көрсеткіші деп атайды. Адиабаталық процессте негізгі параметрлер арасындағы тәуелділікті қарастырайық.

Адиабата теңдеуінен

$$p_1/p_2 = (v_2/v_1)^k \text{ және } v_2/v_1 = (p_1/p_2)^{1/k}$$

Егер бұл параметрлер қатынасын процесстің күй теңдеуіне  $v_2/v_1 = (p_1/p_2)^{1/k}$  қоятын болсақ, онда түрлендірілуден кейін

$$(T_1/T_2) = (v_2/v_1)^{k-1} = (p_1/p_2)^{(k-1)/k}$$

$l = \int_{v_1}^{v_2} p dv$  меншікті жұмыс көлемінің өзгерісі адиабаталық процессте,

$$p = p_1 v_1^k / v^k \text{ немесе}$$

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p_1 v_1^k (dv / v^k) = [p_1 v_1^k / (1-k)] (v_2^{1-k} - v_1^{1-k}) =$$

$$= \frac{p_1 v_1^k}{k-1} \left( \frac{1}{v_1^{k-1}} - \frac{1}{v_2^{k-1}} \right) = \frac{1}{k-1} \left( \frac{p_1 v_1^k}{v_1^{k-1}} - \frac{p_2 v_2^k}{v_2^{k-1}} \right)$$

Осыдан

$$l = [1/(k-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (3.16)$$

(3.16) өрнегінен келесі формулаларды алуға болады:

$$l = [p_1 v_1 / (k-1)] (1 - T_2 / T_1); l = [R / (k-1)] (T_1 - T_2)$$

Температуралар қатынасын көлем мен қысымның қатынасымен ауыстырамыз:

$$l = [p_1 v_1 / (k-1)] [1 - (p_2 / p_1)^{\frac{k-1}{k}}] = [RT_1 / (k-1)] [1 - (v_1 / v_2)^{k-1}]$$

$p, v, T$  арасындағы тәуелділіктер және жұмыс теңдеуі  $k = const$  шартында алынды. Ауыспалы жағдайда  $k$  орташа мәнін алады:

$$k = c_p \int_{t_1}^{t_2} / c_v \int_{t_1}^{t_2} = \Delta i / \Delta u.$$

(2.11) және (2.12) термодинамиканың бірінші заңының теңдеуі адиабаталық процесс үшін ( $\delta q = 0$ ) мына түрде болады:

$$du = -p dv \text{ и } di = v dp,$$

Осыдан

$$(du/dv)_s = -p \text{ и } (di/dp)_s = v$$

Бұл қатынастан мынаны алуға болады  $(di/dp)_s = -(v/p)(dp/dv)_s$ .

Алынған теңдеу адиабаталық (изоэнтроптық) процесстің дифференциалды теңдеуі.

Бұл теңдеуде  $(di/du)_s = k$ .

Термодинамиканың бірінші заңына сәйкес меншікті жылу көлемінің өзгерісі  $c_v = \text{const}$  кезінде

$$l = u_1 - u_2 = c_v(t_1 - t_2)$$

$c_v \neq \text{const}$  кезінде

$$l = c_v \int_0^{t_1} dt_1 - c_v \int_0^{t_2} dt_2.$$

Егер газ кеңейсе, онда ішкі энергия және температура азаяды, ал егер газ сығылса, онда ішкі энергия және температура ұлғаяды.

$\delta q = 0$  кезінде  $c = \delta q / dT$  өрнегінен адиабаталық процессте меншікті жылу нөлге тең.

Адиабаталық процесстегі сыртқы жұмысты табайық:  $l' = - \int_{p_1}^{p_2} v dp$ .

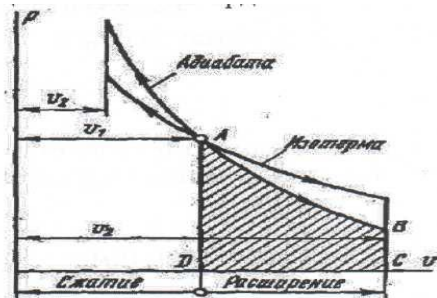
Адиабата теңдеуінен (3.15)  $kdv/v = -dp/p$  немесе  $-vdp = kpdv$ ,  
яғни  $\delta l' = k\delta l$ .

Осыдан,

$$l' = [k/(k-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (3.17)$$

және  $l' = [k/(k-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2)$ .

$p-v$  диаграммасында сыртқы жұмыс ABCD (сурет 3.4) ауданымен беріледі. Ол шеткі абцисса және ординат өсімен, процесс сызығымен шектеледі.



Сурет 3.4 - Адиабата және изотерманың P-V диаграммасы

Қайтымды процесс үшін  $\delta q = 0$ , сондықтан  $ds = \delta q / T = 0$  және  $s_2 = s_1 = \text{const}$ , (3.18) яғни қайтымды адиабаталық процесс изоэнтропты (немесе тұраты энтропия кезінде) болып табылады.

Қайтымсыз адиабаталық процессті Ts – диаграммада көрсетуге болады. Қайтымсыз процесстерге термодинамиканың бірінші заңын (2.11) қолдана отырып, және  $\delta q_{mp} > 0$  және  $T > 0$  ескере отырып, қайтымсыз адиабаталық процесстің изоэнтропты емес екенін көруге болады (меншікті энтропия өзгерісі бірге тең емес).



## 6 Политропты процесс

Жылу сыйымдылығы тұрақты кезінде жүретін процесс политропты деп аталады.

Политропты процесстің меншікті жылу сыйымдылығы  $c_n$   $-\infty$  дейінгі  $\infty$  оң және теріс қабылдауы мүмкін.

Политропты процесстегі меншікті жылу мөлшері  $t_2 - t_1$  бастапқы және ақырғы температураларының және процесстің жылу сыйымдылығының  $c_n$  көбейтіндісімен өрнектелуі мүмкін:

$$q = c_n(t_2 - t_1) \quad \text{және} \quad \delta q = c_n dt \quad (3.19)$$

Политропты процесстің теңдеуі термодинамиканың бірінші заңының теңдеуінен шығады:

$$\delta q = c_n dt = c_p dt - v dp \quad \text{және} \quad \delta q = c_n dt = c_v dt + p dv$$

Бұл теңдеуден  $(c_n - c_p)/(c_n - c_v) = -v dp/(p dv)$  табамыз. Теңдеудің сол жағын  $n$  деп белгілеп, мынаны аламыз  $(c_n - c_p)/(c_p - c_v) = n$  және  $ndv/v = -dp/p$ .

Алынған теңдеуді процесстің бастапқы және ақырғы шегінде интегралдаймыз  $n \lg v_2/v_1 = \lg p_1/p_2$

немесе

$$pv^n = const \quad (3.20)$$

Алынған теңдеу политропты процесс теңдеуі деп аталады. Политроп  $n$  көрсеткішінің әр процесс үшін белгілі бір сандық мәні бар. Негізгі процесстер үшін: изохоралық  $n = \pm\infty$ , изобаралық  $n = 0$ , изотермиялық  $n = 1$  және адиабаталық  $n = k$ .

$$p_2/p_1 = (v_1/v_2)^n; T_2/T_1 = (v_1/v_2)^{n-1}; T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(n-1)/n}$$

Политропты процесстің меншікті жылу сыйымдылығы мына формуладан анықтаймыз:

$$n = (c_n - c_p)/(c_n - c_v)$$

$$c_n = c_v [(n - k)/(n - 1)] \quad (3.21)$$

Егер (3.21) теңдеуге әр процесс үшін  $n$  мәнін қойсақ, онда:

Изохоралық процесс  $n = \pm\infty$ ,  $c_n = c_v$

Изобаралық процесс  $n = 0$ ,  $c_n = kc_v = c_p$

Изотермиялық процесс  $n = 1$ ,  $c_n = \pm\infty$

Адиабаталық процесс  $n = k$ ,  $c_n = 0$ .

Политропты процесстегі меншікті жұмыстың теңдеуі:

$$l = [1/(n-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \quad (3.22)$$

немесе

$$\begin{aligned} l &= [RT_1/(n-1)](1-T_2/T_1) = [p_1 v_1/(n-1)][1-(p_2/p_1)^{(n-1)/n}] = \\ &= [p_1 v_1/(n-1)][1-(v_1/v_2)^{n-1}] \end{aligned} \quad (3.23)$$

Политропты процессте газдың меншікті ішкі энергия өзгерісі және меншікті жылу мөлшері мына формуламен анықталады:

$$\begin{aligned} \Delta u &= c_v(t_2 - t_1) \\ q &= c_n(t_2 - t_1) = c_v[(n-k)/(n-1)](t_2 - t_1) \end{aligned} \quad (3.24)$$

Политропты процесстің сыртқы жұмысы аналогиялық жағынан адиабаталық процеске тең

$$l' = - \int_{h_1}^{h_2} v dp = [n/(n-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) = [n/(n-1)]R(T_1 - T_2) \quad (3.25)$$

Меншікті энтальпия өзгерісі

$$i_2 - i_1 = c_p(t_2 - t_1) \quad (3.26)$$

Кез келген политропты процессте  $n$  мәні графиктің екі нүктесінің координаталары бойынша анықтауға болады:

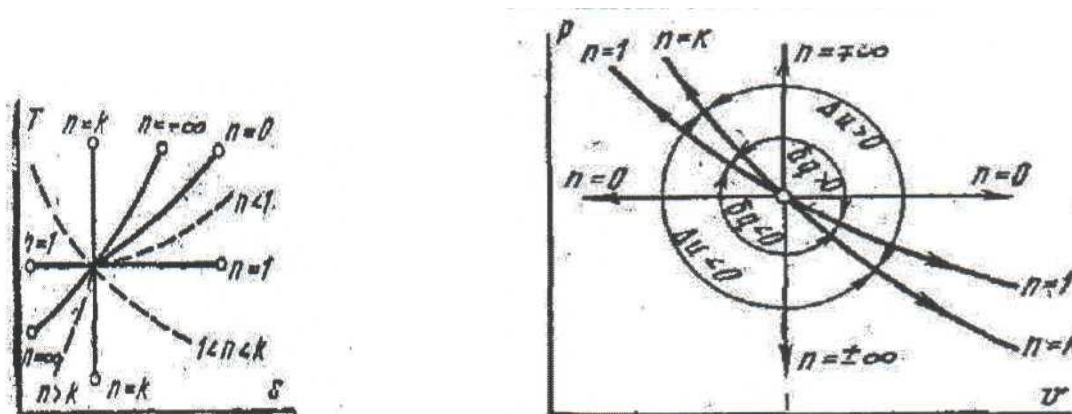
$$n = \frac{\lg p_1 / p_2}{\lg v_2 / v_1}; n-1 = \frac{\lg T_2 / T_1}{\lg v_1 v_2}; \quad \frac{n-1}{n} = \frac{\lg T_2 / T_1}{\lg p_2 / p_1} \quad (3.27)$$

Политропты процессті логарифмдік координатта  $n$  көрсеткішін табу үшін мына әдісті қолдануға болады:  $\lg p + n \lg v = const$ .

Бұл теңдеу  $\lg p$  и  $\lg v$  координаттарында түзу сызықты береді, ал  $n$  политроп көрсеткіші - тангенс бұрышы абсцисса өсіне тік (3.27).

Политропты процессте газдың меншікті энтропия өзгерісі мына формуламен анықталады:  $ds = \delta q/T = c_n dT/T$ , немесе күйдің соңғы өзгерісі:

$$s_2 - s_1 = c_n \lg T_2/T_1 = c_v [(n-k)/(n-1)] \ln T_2/T_1 \quad (3.28)$$



Сурет 3.5 - P-V және T-S политроп диаграммасы

3.5 суретте  $n$  көрсеткішке тәуелді нүктеден шығатын  $PV$ -диаграммасындағы политропты процессі берілген.

Политропты процессте газдық меншікті ішкі энергиясы қалай өзгертінін қарастырайық. Изотермиялық процессте  $n=1$  тең болған жағдайда газдың меншікті ішкі энергиясы өзгермейді ( $u_2=u_1$ ). Изобаралық процессте  $n=0$  тең болғанда меншікті ішкі энергия ұлғаяды. Жылу берумен жүретін изохоралық процессте  $n=-\infty$  болғанда меншікті ішкі энергия өседі. Осыдан мынадай қорытынды шығаруға болады, барлық политропты процесстер, яғни кеңею процесстері  $n > 1$  кезінде, ал сығылу процессі  $n < 1$  кезінде меншікті ішкі энергияның өсуімен жүреді.

Политропты процессте жылу мөлшері қалай өзгертінін қарастырайық (3.9). Адиабаталық процессте жылу берілмейді және алынбайды. Изотермиялық процессте ( $n=1$ ), изобаралық процессте ( $n=0$ ) кеңейеді және изохоралық процессте ( $n=-\infty$ ) жылу беріледі. Осыдан барлық политропты процесстер, яғни кеңею процесстері  $k > n > -\infty$  шегінде, ал сығылу процесстері  $\infty > n > k$  жылу берумен жүреді.

Адиабатаның және изотермияның арасында орналасқан процесстердің жылу сыйымдылығы теріс мәнді, өйткені  $\delta q$  және  $du$  таңбалары бұл процесстерде әр түрлі.  $\delta q$  және  $du$  таңбалары мынаған сәйкес келеді:  $dT(du > 0, dT > 0)$  және  $du(0, dT < 0)$ . Сонда  $c = \delta q/dT$  меншікті жылу сыйымдылығының тендеуінен көріп отырғанымыздай, ол шың мәнінде теріс.

Бұл процесстерде жылу беру кезінде температура төмендейді, ал жылу алынған кезде ұлғаятының тәжірибеден көруге болады.

Әдебиет: 2, 67-109; бет. 30-34; 7, бет.80-92.

### Бақылау сұрақтары:

- 1.ТТД қанша процесс бар?
- 2.Қандай процесстер идеал процесстерге жатады?
- 3.Қандай процесс нақты?
- 4.Термодинамикалық процесстерді оқудың екі мақсатын ата?
- 5.Изохоралық процесс қандай жағдайда жүреді?
- 6.P-V диаграммасында изобара қандай сызықпен белгіленеді?
- 7.Изотермиялық процесстегі параметрлер қатынасын жаз?
- 8.Адиабаталық процессте жылу неге тең?
- 9.Политропты процесстің теңдеуін жаз.
- 10.P-V ижәнеT-S диаграммасында политропты процесс қалай белгіленеді?

### Тақырып 4: Термодинамиканың екінші заңы

**Мақсаты:** пайдалы әсердің термиялық коэффициент ұғымын, Карно циклдарын, термодинамиканың екінші заңын оқу.

#### Жоспар:

1 Термодинамиканың екінші заңы тұжырымдамасы бойынша, жылу жұмысқа, ал жұмыс жылуға айналады.

Термодинамиканың бірінші заңы қыздырылған денеден немесе салқын денеге жылу беру немесе жылу алу процессінің орындалатынын қарастырмайды. Жылу өзімен өзі қыздырылған денеден салқын денеге өтетіндігін тәжірибе көрсетіп отыр. Қыздырылған денеден қоршаған ортаға жылу беру температураның қоршаған орта температурасымен сәйкес келгенше жүреді. Жылу қозғалысының бағытын тек жұмыс шығынының нәтижесінде өзгертуге болады.

Энергияның басқа түрлері секілді қандайда бір процеске қатысатын жұмыс жылдам және толық жылуға айнала алады. Жылудың жұмысқа айналуы тек жылу көздері және жылу қабылдағыштың арасындағы температура әр түрлі болған кезде жүреді. Бірақ барлық жылудың жұмысқа айналуы мүмкін емес.

Жылу ағымының бағытын көрсете алатын және жылу машиналарында жылудың жұмысқа айналуының максималды шегін орнататын заң термодинамиканың екінші заңы болып табылады.

1824 жылы француздық инженері және оқымыстысы Сади Карно былай жазды: «Температурасы әр түрлі жерлерде қозғалыс күштері пайда болуы мүмкін. Қозғалыс күштері оның дамуына алынған аяқтарға тәуелді емес оның мөлшері дене температурасымен анықталады. Қозғалыс күштерінің дамуы үшін газ температурасы бастапқы кезде үлкен болуы керек. Осы себептен де салқындату да үлкен болуы керек».

Өткен ғасырдың 50-жылдары Клазиус постулат түрінде термодинамиканың екінші заңы туралы жалпы және жаңа тұжырымдама

жасады: «Жылу өзімен өзі салқын денеден қыздырылған денеге ауыса алмайды (компенсациясыз)».

Клаузиус постулатын, қоршаған табиғатты бақылау нәтижесінде алынған, эксперименталды заң ретінде қарастыру керек. Клаузиус тұжырымдамасы техникаға байланысты құрылған, бірақ екінші заң бойынша физика және химияға да қолдануға болады.

1851 жылы Клаузиуспен бір мезетте Томсон термодинамиканың екінші заңы туралы өзінің тұжырымдамасын ұсынды. Оның айтуынша жылу бергіштіктен алынған жылудың бір бөлігі ғана жұмысқа айналады. Жылудың екінші бөлігі жылу қабылдағышқа өтуі керек.

Осыдан, жұмысты алу үшін температурасы жоғары жылу көздері немесе жылу бергіштік қажет және температурасы төмен жылу көздері немесе жылу қабылдағыш қажет.

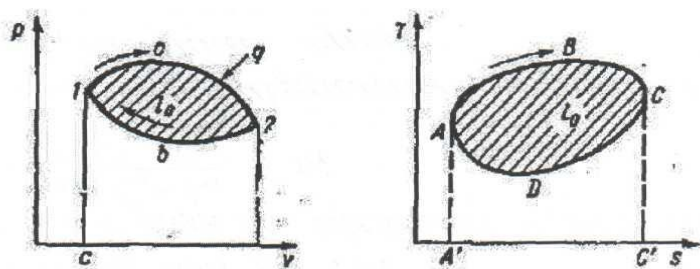
2 Термиялық пәк және тоңазытқыш коэффициенті.

Бір цикл ішінде жұмысқа айналған меншікті жылу мөлшерінің, жұмыс денесіне жіберілген барлық меншікті жылу мөлшеріне қатынасы термиялық пайдалы әсер коэффициенті деп аталады:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{1}{q_1}$$

ПӘК көп болса, онда жіберілген жылудың көп бөлігі пайдалы жұмысқа айналады. Циклдің термиялық пәк әрқашан  $< 1$ .

3 Карно теоремасы: «Тұйықталған айнамалы процессте жылу механикалық жұмысқа жылу бергіштіктің және жылу қабылдағыштың арасындағы температура әр түрлі болған жағдайда ғана ауыса алады».



Сурет 4.1 – Жылу қозғалтқышының айналмалы циклі

Жұмыс денесінің кеңеюі сығылуға қарағанда төмен температурада жүреді және кеңею жұмысы сығылу жұмысына қарағанда аз болады. Бұндай процесс ішкі жұмыс шығындалған кезде ғана жүзеге асырылуы мүмкін.

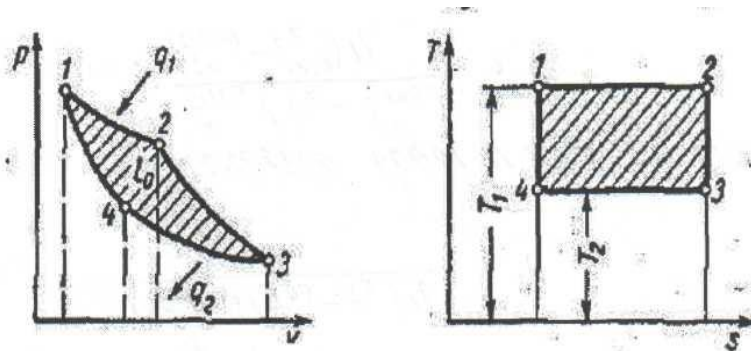
Қайтымды процессте жылу қабылдағыштан  $q_2$  меншікті жылу мөлшері жіберіледі және 1 меншікті жұмыс шығындалады, бұлар жылу бергіштікке жіберіледі.

$$Q_1 = q_2 + 1$$

Қайтымды процесстің түрлену дәрежесі циклдің тоңазыту коэффициентімен анықталады  $\varepsilon = q_2 / l$ .

Тоңазыту коэффициенті жұмыс шығындалған кезде жылу қабылдағыштан қанша жылу мөлшері алынғанын көрсетеді.

#### 4. Қайтымды тік Карно циклі.



Сурет 4.3 – Тік Карно циклы

Карно циклы 2 адиабатадан және 2 изотермиядан тұрады. Ең алдымен изотермиялық процессте тұрақты температурада жылу кеңею жылу бергіштікке жіберіледі. Одан кейін адиабаталық процессте жұмыс денесінің  $\downarrow$  кеңею температурасы жылу қабылдағыштың температурасына жіберіледі. Келесі изотермиялық процессте жылу қабылдағыш температурасында жұмыс денесінен жылу алу процессі жүреді. Процесстің тұйық циклі адиабаталық процесс болып табылады. Бұл кезде температура бастапқы қалпына қайта келеді.

Изотермиялық процесстегі меншікті жылу мөлшері мына формуламен табылады:

$$q_1 = RT_1 \ln(v_2 / v_1); q_2 = RT_2 \ln(v_3 / v_4)$$

Адиабата үшін

$$\left( T_2 T_1 \right)^{1/k-1} = v_2 / v_3 \text{ және } \left( T_2 T_1 \right)^{1/k-1} = v_1 / v_4; v_2 / v_3 = v_1 / v_4$$

немесе

$$v_2 / v_1 = v_3 / v_4 \cdot v_2 \cdot \eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

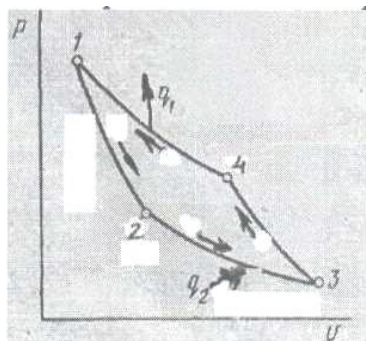
Қорытынды:

1. Карно циклінің пәк  $\eta_t$  жылу бергіштіктің және жылу қабылдағыштың абсолютті температурасына тәуелді. Ол жоғары болса,  $T_2$  төмен болады, ал онда ол жоғары болады, ал  $T_1$  жоғары болады.

2. Карно циклінің пәк әрқашан  $< 1$ , өйткені  $\eta_t = 1$  алу үшін  $T_2 = 0$  немесе  $T_1 = \infty$ , болу керек;

3. Карно циклінің пәк  $\eta_t$  дене табиғатына тәуелсіз және  $T_2 = T_1$  кезінде нөлге тең, яғни жылуды жұмысқа айналдыру мүмкін емес;

4. Белгілі бір шекте жүретін басқа да циклдардың ПӘК салыстырғанда Карно циклінің пәк  $\eta_t$  мәні өте зор.



Сурет 4.4 - Кері Карно циклі

Карно циклы тек қана тура бағытта емес, сонымен қатар кері бағытта жүруі мүмкін. Кері бағытта жұмыс істейтін машина тоңазытқыш машинасы деп аталады. Жұмыс денесі Р бастапқы нүктеде адиабаталық кеңейеді (1-2), бұл кезде  $T_1 \downarrow T_2$ . Одан кейін адиабаталық сығылу (3-4)  $\uparrow$  температура  $T_2$  ден  $T_1$  дейін жүреді. Соңғы процессте изотермиялық сығылу (4-1) жүреді. Бұл кезде жоғары температуралы жылу қабылдағышқа  $q_1$  меншікті жылу мөлшері жіберіледі.

5 Термодинамиканың екінші заңының математикалық түрі.

Қайтымды цикл үшін:  $\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ,

қайтымсыз цикл үшін:  $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ .

Бұдан  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$  және  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$  немесе  $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$ , жіберілген жылу

әрқашан оң, ал алынған жылу теріс  $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$ .

Алынған немесе жіберілген жылудың абсолютті температураға қатынасы әкелінген жылу деп аталады.

$$\sum \frac{Q}{T} = 0 \tag{4.1}$$

немесе

$$\int \frac{Q}{T} = 0 \quad (4.2)$$

Клаузиуспен шығарылған (4.2) теңдеуі термодинамиканың екінші заңының математикалық түрі және Клаузиус тің бірінші интегралы деп аталады.

Кері циклдар үшін:

Қайтымсыз циклдің ПӘК қайтымды процесстен төмен, сондықтан

$$\eta_{\text{тиннео}} = \eta_{\text{тооо}}, \quad \frac{T_2}{T_1} < \frac{Q_2}{Q_1}$$

немесе

$$\frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2} \quad \text{және} \quad \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} < 0,$$

әкелінген жылу әрқашан оң, ал алынған жылу әрқашан теріс екенін ескерсек,

$$\text{онда} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0/$$

Соңғы теңдеуден көріп отырғанымыздай алгебралық жылу нөлден төмен, немесе

$$\sum \frac{Q}{T} < 0 \quad (4.3)$$

Әр элементар цикл (4.3) теңдеуі қолданылады, ал туындысы үшін

$$\int \frac{Q}{T} < 0 \quad (4.4)$$

Клаузиус шығарған (4.4) теңдеу термодинамиканың екінші заңының математикалық түрі және ол Клаузиус интегралы деп аталады.

(4.2) және (4.4) қоссақ, онда

$$\int \frac{Q}{T} \leq 0 \quad (4.5)$$

(4.5) теңдеуі термодинамиканың екінші заңының жалпы түрі болып табылады.

**Әдебиет:** 2, бет.109-127; 5, бет. 19-30; 7, бет. 96-123

**Бақылау сұрақтар:**

1. Термодинамиканың екінші заңы?
2. Пайдалы әсердің термиялық коэффициенті дегеніміз не?
3. Тоңазытқыш коэффициенті дегеніміз не?
4. Карно теоремасы не ұсынады?



5. Тура Карно циклі қандай процесстерден тұрады?
6. Қайтымды Карно циклі қандай процесстерден тұрады ?
7. Неліктен термиялық ПӘК бірден үлкен болмайды?
8. Клаузиустің бірінші интегралын жаз?
9. Клаузиустің екінші интегралын жаз?
10. Жіберілген жылу дегеніміз не?

## **Тақырып 5: Компрессорлар**

**Мақсаты:** компрессорлар ұғымына түсінік бер, бір және көп сатылы компрессорлардың индикаторлы диаграммасын игеру және энергетикалық тиімді процесстерді анықтауды үйрену.

### **Жоспар:**

- 1 Компрессорлар және компрессорлар квалификациясы
- 2 Поршенді компрессорлардың құрылғысы және жұмысы
- 3 Көп сатылы сығылу

1 Идеалды компрессорлардағы сығылу процесі. Газдардың орын ауыстыруына және сығылуына арналған құрылғыны компрессорлар деп атайды.

Компрессорлар классификациясы:

1. Мақсаты бойынша:
  - А) ауалық (сығылған ауаны өңдеуге арналған);
  - Б) газдық (табиғи газды соруға арналған, оттегі, фреон және т.б., газдарды сығуға арналған);
2. Әсер ету принципі бойынша:
  - А) поршендік (көлемдік);
  - Б) турбиналы компрессорлар.
3. Ағым бағыты бойынша:
  - А) центрлік
  - Б) өстік
4. Қысымның мөлшері бойынша:
  - А) вентиляторлар (қысымның жоғарлау дәрежесі 1,5 төмен)
  - Б) айдамалау
  - В) компрессорлар (қысымның жоғарлау дәрежесі 1,15 жоғары)

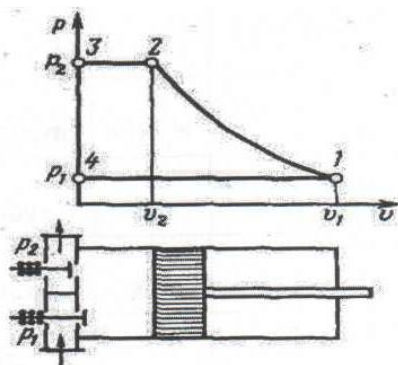
2 Поршенді компрессорлардың құрылғысы және әсер ету принципі.

Поршенді компрессорларда сығылу, ілгермелі – қайтымды қозғалыс жасайтын, поршенмен жүзеге асырылады. Электрқозғалтқышпен немесе ІЖҚ іске қосылады.

Классификациясы:

1. әсер етуі бойынша:
  - А) қарапайым
  - Б) жұп

2. цилиндр саны бойынша:
  - А) бірцилиндрлік
  - Б) көпцилиндрлік
3. цилиндрдің орналасуы бойынша:
  - А) көлденең
  - Б) тігінен
  - В) V-тәріздес
  - Г) жұлдызша тәріздес
4. сығылу сатысының саны бойынша:
  - А) бір сатылы
  - Б) көп сатылы



Сурет 5.1 – Идеалды поршенді компрессордың индикаторлы диаграммасы

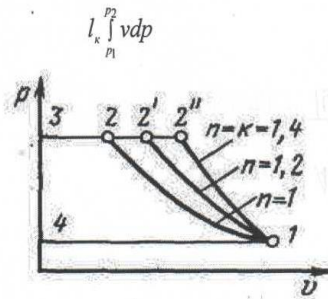
Поршенді компрессорлардың әсер ету принципі мынадай (5.1): поршен солдан оңға қарай қозғалған кезде цилиндрдегі қысым  $p_1$  қысымнан төмендейді. Сорғыш тығыны ашылып, цилиндр газбен толады. Индикаторлық диаграммада сору процесі 4-1 сызығымен көрсетілген. Поршеннің қайтымды қозғалысы кезінде тығын жабылып, барлық процесстер қайталанады.

Индикаторлы диаграмманы, заттың тұрақты мөлшеріне арналған,  $p, v$ -диаграммасымен шатастыруға болмайды. Индикаторлы диаграммада сору сызығы 4-1 және айдамалау сызығы 2-3 көрсетілген.

1 кг газдың сығылуы және орын ауыстыруы кезіндеа  $(l_{TEX})$  жұмыс

жасалады. Оны  $l_k (l_k = -l_{TEX})$  жазайық. Сонда  $l_k \int_{p_1}^{p_2} v dp$

Компрессорда шығындалған техникалық жұмыс сығылу процессіне тәуелді. 5.2 суретте изотермиялық ( $n=1$ ), адиабаталық ( $n=k$ ) және политропты процесстердің сығылуы көрсетілген. Изотерма бойынша сығылу ең кішкентай ауданды береді, яғни жұмыс аз шығындалады. Сондықтан компрессорда изотермиялық сығылуды қолдану энергетикалық тиімді болып табылады



Сурет 5.2 - Адиабаталық, изотермиялық және политропты сығылудың жұмысын салыстыр.

Индикаторлы диаграммада  $l_k$  4-3-2-1 ауданымен көрсетілген.

Сығылу процессін изотермиялық процесске жақындату үшін, компрессорда сығылып жатқан газдан жылу алу керек. Бұл цилиндрдің сыртын сумен салқындату арқылы жүзеге асырылады.

Идеалды компрессорларға шығындалған жұмыс (5.1) қатынасымен анықталады. Газ идеалды деп есептеп (3.25) политропты теңдеуінен мынаны аламыз:

$$v = \left( p_1 / p \right)^{1/n} v_1 \text{ немесе}$$

$$l_k = \int_{p_1}^{p_2} \left( \frac{p_1}{p} \right)^{1/n} v_1 dp = \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right] \quad (5.2)$$

Егер компрессордағы газ шығынын  $m$ , кг/с өрнектесек, онда компрессор жетегінің қуаттылығы мына теңдеуден анықталады:

$$N_0 = m \frac{n}{n-1} p_1 v_1 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(n-1)/n} - 1 \right]$$

3 Көп сатылы сығылу. Жоғары қысымды газ алу үшін көп сатылы компрессорларды қолданады (сурет 5.3). Бұл компрессорларда сығылу процесі өзара қосылған бірнеше цилиндрлерде жүреді және әр сығылу процессінен кейін газ салқындатылады.

Үш сатылы компрессордың индикаторлы диаграммасы 5.4 суретте көрсетілген. Бірінші сатыда газ  $p_n$  қысымына дейін политроп бойынша сығылады, одан кейін 1 аралық тоңазытқышқа келіп,  $T_1$  бастапқы температураға дейін салқындатылады. Тоңазытқыштан кейін газ екінші сатыға өтеді және  $p_{ш}$  қысымға дейін политроп бойынша сығылады. Одан кейін 2 тоңазытқышқа келіп,  $T_1$  температураға дейін салқындатылып, үшінші сатыға өтеді және  $p_2$  қысымға дейін салқындатылады.

Егер сығылу процесі 1-3-5-7 изотерма бойынша жүрсе, онда сығылу жұмысы минималды болады. Бір сатылы компрессордың сығылуы кезінде 1-9

сызығы бойынша жұмыс 0-1-9-8 ауданымен анықталады. Үш сатылы компрессордың жұмысы 0-1-3-4-5-6-8 ауданымен анықталады. Штрихталған аудан үш сатылы сығылуды қолданған кездегі жұмыс азайғандығын көрсетеді.

Неғұрлым сығылу сатысы және аралық тоңазытқыштар көп болған сайын, соғұрлым процесс изотермиялық тиімді, бірақ компрессор конструкциясы күрделірек.

Компрессордың тиімді жұмысы идеал компрессор жетегіне шығындалған жұмыс қатынасына тең.

Салқындатқышсыз жұмыс істейтін компрессорларда адиабаталық ПӘК қолданылады:

$$\eta_{ad} = l_{ad} / l_{kd},$$

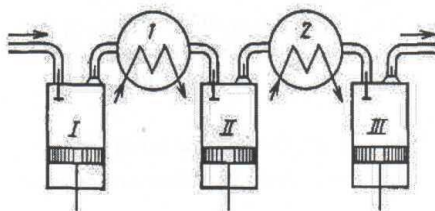
мұндағы  $l_{ad}$  – адиабаталық сығылу жұмысы.

$n = k; l_{kd} - 1$  кг газды сығу кезінде шығындалған жұмыс.

Салқындатқыш компрессорлар үшін изотермиялық ПӘК қолданылады:

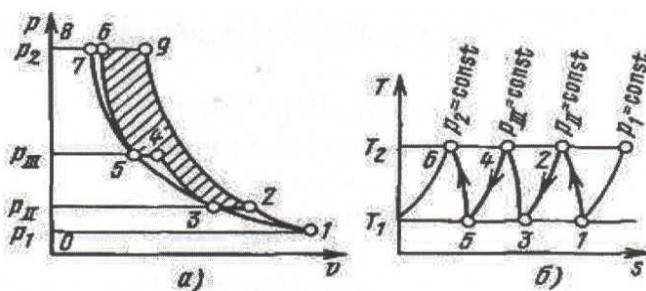
$$\eta_{из} = l_{из} / l_{kd},$$

мұндағы  $l_{из}$  –  $n=1$  изотермиялық сығылу кезіндегі шығындалған жұмыс



Сурет 5.3 – Көп сатылы компрессор сұлбасы.

I-III-сатылы сығылу; 1, 2-аралық тоңазытқыштар



Сурет 5.4 – Үш сатылы компрессордың индикаторлы диаграммасы (а) және T- S диаграммадағы сығылу процесі (б)

Әдебиет: 2, бет. 133-139; бет.217-23

### Бақылау сұрақтар:

1. Компрессорлық машина дегеніміз не?
2. Әсер ету принципі бойынша компрессорлар классификациясы?
3. Поршенді компрессор қандай негізгі элементтерден тұрады?
4. Поршенді компрессор қалай іске қосылады?

5. Поршенді компрессордың жұмыс істеу принципі?
6. Поршенді идеал компрессорының индекаторлы диаграммасын көрсет.
7. Сығылу процесі қандай процесстермен жүреді?
8. Сығылу процесінің қайсысы тиімді? Неге?
9. Көп сатылы сығылу не үшін қолданылады?
10. P-V диаграммасында үш сатылы сығылу процесін көрсет.

## Тақырып 6: Іштен жану қозғалтқышы (ІЖҚ)

**Мақсаты:** диаграмма көмегімен ІЖҚ термодинамикалық циклын анықтау, әр нүктенің күй параметрлерін анықтау, термиялық ПӘК анықтау, және ІЖҚ әр циклының ПӘК арттыру.

### Жоспар:

- 1 Тұрақты көлем кезіндегі жылу жіберудің ІЖҚ циклы
- 2 Тұрақты қысым кезіндегі жылу жіберудің ІЖҚ циклы
- 3 Аралас жылу жіберу кезіндегі ІЖҚ, әр циклдың термиялық ПӘК.

Жылу жіберу әдісіне байланысты ІЖҚ үш түрі бар:

1. тұрақты көлем кезінде жылу жіберу (Отто);
2. тұрақты қысым кезінде жылу жіберу (Дизель);
3. аралас жылу жіберу (Тринклер).

1 Бірінші цикл сыртқы аралас қоспалы қозғалтқыштар үшін қажет (бензиндік, газдық)



Сурет 6.1 – Тұрақты көлем кезіндегі ІЖҚ P-V және T-S диаграммасы.

Тұрақты көлемде ІЖҚ жылу беруі екі адиабатадан және екі изохорадан тұрады. 1-2 процесс адиабаталық сығылу; 2-3-жылу берудің изохоралық процессі; 3-4 адиабаталық кеңею; 4-1 изохоралық жылу алу.

Цикл сипаттамасы

$$\varepsilon\text{- сығылу дәрежесі} \quad \varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (6.1)$$

$$\lambda\text{-қысымның жоғарлау дәрежесі} \quad \lambda = \frac{P_3}{P_2} \quad (6.2)$$

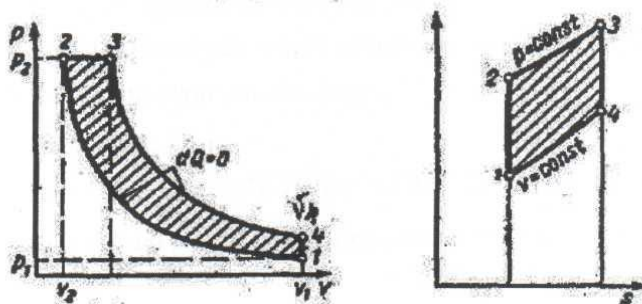
$$\text{жіберілген жылу: } q_1 = C_v(T_3 - T_2) \quad (6.3)$$

$$\text{алынған жылу } q_2 = C_v(T_4 - T_1) \quad (6.4)$$

$$\text{циклдың термиялық пәк: } \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad (6.5)$$

мұндағы  $k$  – баздағы атомдар санына тәуелді адиабата көрсеткіші (2.2 кестені қара)

Қорытынды:  $\varepsilon$  мәні артқан сайын  $\eta_t$  де артады.



Сурет 6.2 - Тұрақты қысым кезіндегі ІЖҚ P-V және T-S диаграммасы

Тұрақты көлемде ІЖҚ жылу беруі екі адиабатадан, изохора және изобарадан тұрады. 1-2 адиабаталық сығылу процесі; 2-3 жылу берудің изобаралық процесі; 3-4 адиабаталық кеңею; 4-1 изохоралық жылу алу.

Цикл сипаттамасы:

$$\varepsilon \text{ -сығылу дәрежесі: } \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad (6.6)$$

$$\rho \text{ - қысымның жоғарлау дәрежесі } \rho = \frac{V_3}{V_2}; \quad (6.7)$$

$$\text{жіберілген жылу: } q_1 = C_p (T_3 - T_2) \quad (6.8)$$

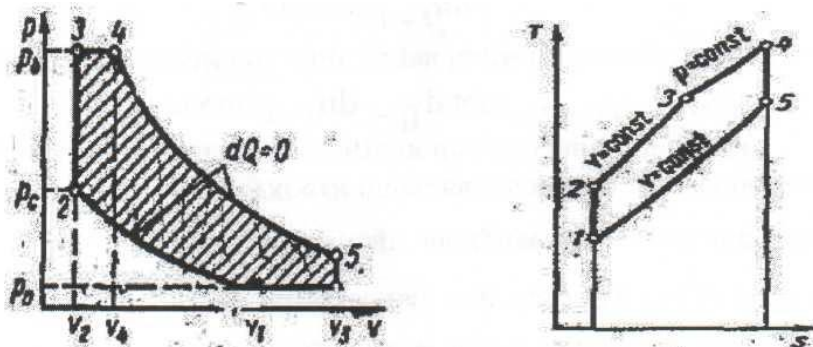
$$\text{алынған жылу: } q_2 = C_v (T_4 - T_1) \quad (6.9)$$

циклдың термиялық пәк:

$$\eta_t = 1 - \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)\varepsilon^{k-1}} \quad (6.10)$$

Қорытынды  $\varepsilon$  мәні артқан сайын,  $\eta_t$  де артады, ал  $\rho$  мәні артқан сайын  $\eta_t$  мәні төмендейді.

Аралас жылу беру кезіндегі ІЖҚ екі адиабатадан, екі изохорадан және изобарадан тұрады. 1-2 адиабаталық сығылу процесі; 2-3 жылу берудің изохоралық процесі; 3-4 жылу берудің изобаралық процесі; 4-5 адиабаталық кеңею; 5-1 изохоралық жылу алу процесі.



Сурет 6.3 - Аралас жылу беру кезіндегі ІЖҚ P-V және T-S диаграммасы

Цикл сипаттамасы:

$$\varepsilon - \text{сығылу дәрежесі: } \varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \quad (6.11)$$

$$p - \text{қысымның жоғарлау дәрежесі } p = \frac{v_4}{v_3} \quad (6.12)$$

$$\lambda - \text{қысымның жоғарлау дәрежесі } \lambda = \frac{P_3}{P_2} \quad (6.13)$$

$$\text{жіберілген жылу: } q_1 = q_1' + q_1'' = C_v(T_3 - T_2) + C_p(T_4 - T_3) \quad (6.14)$$

$$\text{алынған жылу: } q_2 = C_v(T_5 - T_1) \quad (6.15)$$

$$\text{циклдың термиялық пәк: } \eta_t = 1 - \frac{\lambda \cdot p^k - 1}{[(\lambda - 1) \cdot k(p - 1)] \cdot \varepsilon^{k-1}} \quad (6.16)$$

Қорытынды:  $\varepsilon$  және  $\lambda$  мәні артқан сайын,  $\eta_t$  де артады, ал  $p$  мәні артқан сайын  $\eta_t$  мәні төмендейді.

**Әдебиет:** 2, бет. 128-130; 5, бет. 57-59; 7, бет. 230-242.

**Бақылау сұрақтар:**

1. ІЖҚ қандай үш термодинамикалық циклы бар?
2. Тұрақты көлем кезінде жылу жіберудің ІЖҚ қандай процесстер жүреді?
3. Тұрақты қысым кезінде жылу жіберудің ІЖҚ қандай процесстер жүреді?
4. Аралас жылу жіберудің ІЖҚ қандай процесстер жүреді?
5. Сығылу дәрежесі дегеніміз не?
6. Қысымның жоғарлау дәрежесі дегеніміз не?
7. Алдын ала кеңею дәрежесі дегеніміз не?
8. Тұрақты көлем кезінде жылу жіберудің ІЖҚ термиялық пәк қалай арттыруға (төмендетуге) болады?



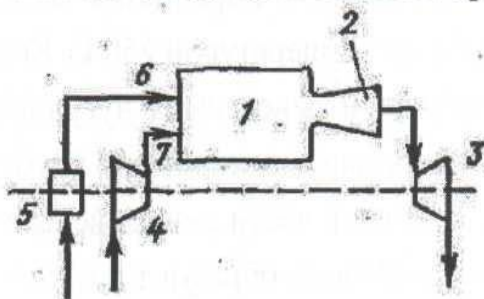
9. Тұрақты қысым кезінде жылу жіберудің ГЖҚ термиялық пәк қалай арттыруға (төмендетуге) болады?
10. Аралас жылу жіберудің ГЖҚ термиялық ПӘК қалай арттыруға (төмендетуге) болады?

### Тақырып 7: Газтурбиналық қондырғылар циклы

**Мақсаты:** диаграмма көмегімен ГТҚ термодинамикалық циклын анықтау, әр нүктенің күй параметрлерін анықтау, термиялық пәк анықтау, және ГТҚ әр циклының ПӘК арттыру.

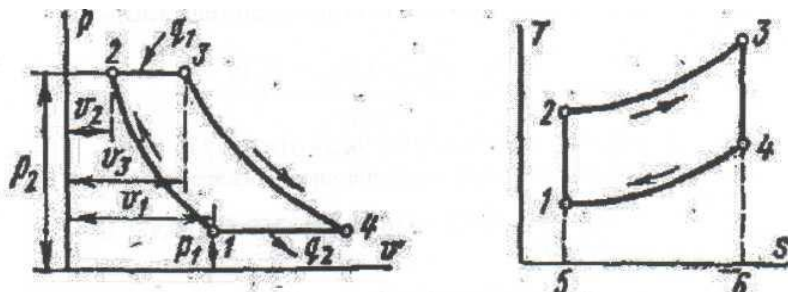
#### Жоспар:

- 1 Тұрақты көлем кезіндегі жылу жіберудің ГТҚ циклы
- 2 Тұрақты қысым кезіндегі жылу жіберудің ГТҚ циклы



Сурет 7.1 -  $P=\text{const}$  кезінде ГТҚ жылу беру схемасы.

Қызмет ету принципі: 4 турбокомпрессорынан және 5 жылу сорғыштан үздіксіз 6 және 7 форсункалары арқылы 1 жану камерасына ауа және отын келіп түседі. Камерадан жану өнімдері біріктірілген саптамаларға 2 бағытталады, онда жұмыстық дене атмосфералық қысымға дейін кеңейеді. Жану өнімдері саптамалардан 3 газ турбинасының пышақтарына түседі, содан кейін атмосфераға шығатын түтік арқылы шығарылады.



Сурет 7.2 -  $P=\text{const}$  кезінде жылу берудің P-V және T-S диаграммалары

Процесстер: 1-2 ауаның адиабаталық сығылуы; 2-3  $P=\text{const}$  кезінде жылу беру; 3-4 адиабаталық кеңею; 4-1 атмосфераға жылу беру.

Цикл сипаттамасы:

$$\text{Сығылу дәрежесі: } \beta = \frac{P_2}{P_1} \quad (7.1)$$

$$p\text{- қысымның жоғарлау дәрежесі } p = \frac{v_3}{v_2}; \quad (7.2)$$

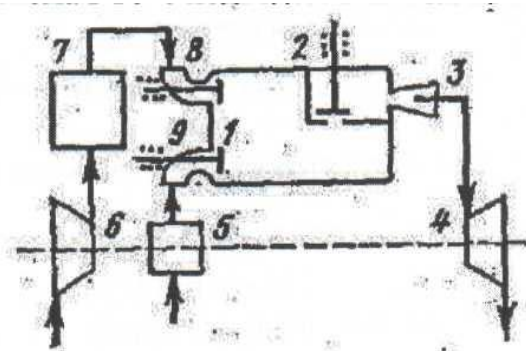
$$\text{жіберілген жылу: } q_1 = C_p (T_3 - T_2) \quad (7.3)$$

$$\text{алынған жылу: } q_2 = C_p (T_4 - T_1) \quad (7.4)$$

$$\text{циклдың термиялық пәк: } \eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{(k-1)/k}} \quad (7.5)$$

Қорытынды:  $\beta$  мәні артқан сайын,  $\eta_t$  артады

2  $V=\text{const}$  кезіндегі жылу жіберудің ГТҚ схемасы

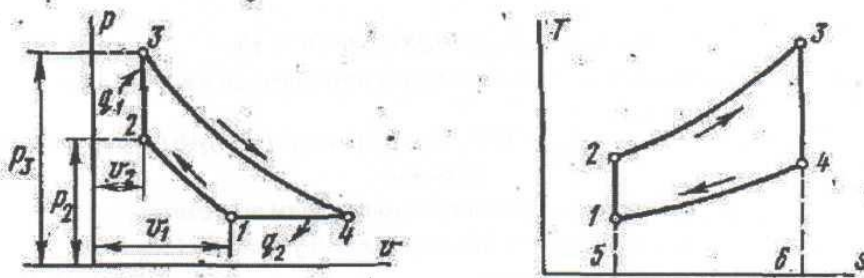


Сурет 7.3 -  $V=\text{const}$  кезіндегі жылу жіберудің ГТҚ схемасы

Қызмет ету принципі: 6 турбокомпрессордағы сығылған ауа 7 ресивердан (сыйымдылығы үлкен қысымды түзетуге арналған ыдыс шынысы) 8 ауалық тығын арқылы 1 жану камерасына келіп түседі.

Осы жерге 9 жылу тығынымен сұйық отын жіберіледі. Жану өнімі, 2 саптама тығыннан өтіп, 3 саптамада кеңейеді және 4 газдық турбина роторын айналдырады. Жанудың периодтық процессін жүзеге асыру үшін белгілі бір уақыт аралығындағы 8 және 9.басқару тығындары қажет. Жану прцессі 2 және 8 жабық тығындарда жүреді.

Отын жанғаннан кейін 1 камерадағы қысым артады, 2 саптамада тығын ашылып, жану өнімі 3 саптама бағытталады. Онда соңғы қысымға дейін кеңейеді.



Сурет 7.4 -  $V=\text{const}$  кезінде жылу берудің P-V және T-S диаграммалары

Процесстер: 1-2 ауаның адиабаталық сығылуы; 2-3  $V=\text{const}$  кезінде жылу беру; 3-4 адиабаталық кеңею; 4-1 атмосфераға жылу беру.

Цикл сипаттамасы:

$$\text{Сығылу дәрежесі: } \beta = \frac{P_2}{P_1} \quad (7.6)$$

$$\lambda\text{-қысымның жоғарлау дәрежесі } \lambda = \frac{P_3}{P_2}; \quad (7.7)$$

$$\text{жіберілген жылу: } q_1 = C_v(T_3 - T_2) \quad (7.8)$$

$$\text{алынған жылу: } q_2 = C_p(T_4 - T_1) \quad (7.9)$$

$$\text{циклдың термиялық: } \eta_t = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{(\lambda - 1)\beta^{(k-1)/k}} \quad (7.10)$$

Қорытынды:  $\beta$  және  $\lambda$  мәні артқан сайын,  $\eta_t$  артады.

Әдебиет: 2, бет.128-130; 5, бет.57-59; 7, бет.230-242.

### Бақылау сұрақтары:

1. ГТҚ қандай екі термодинамикалық циклы бар?
2. Тұрақты көлем кезінде жылу жіберудің ІЖҚ қандай процесстер жүреді?
3. Тұрақты қысым кезінде жылу жіберудің ІЖҚ қандай процесстер жүреді?
4. Сығылу дәрежесі дегеніміз не?
5. Қысымның жоғарлау дәрежесі дегеніміз не?
6. Алдын ала кеңею дәрежесі дегеніміз не?
7. Тұрақты көлем кезінде жылу жіберудің ГТҚ термиялық ПӘК қалай арттыруға (төмендетуге) болады?
8. Тұрақты қысым кезінде жылу жіберудің ГТҚ термиялық ПӘК қалай арттыруға (төмендетуге) болады?

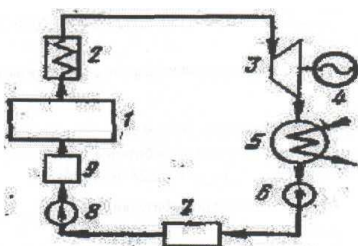
## Тақырып 8: Букүштік қондырғылардың циклдары, Ренкин циклы

**Мақсаты:** букүштік қондырғылардың негізі сұлбаларымен танысу, жұмыс істеу принципін түсіну.

### Жоспар:

- 1 Бу күштік қондырғының сұлбасы
- 2 Карно және Ренкин циклдары, P-V және T-S диаграммалары
3. Жылу беру, пайдалы әсер коэффициентін, энергияны өңдеуге кеткен меншікті жылу шығынын есептеу

#### 1 Букүштік қондырғының сұлбасы (БКҚ):



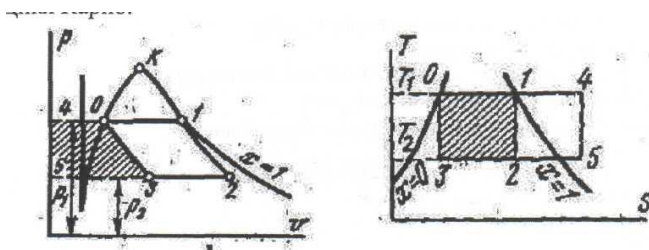
Сурет 8.1 – Бу күштік қондырғының сұлбасы.

БКҚ жұмыс істеу принципі (сурет 8.1).

1 пеште будың пайда болуы. 2 бу қыздырғышында берілген параметрлерге дейін бу қыздырылады. Қыздырылған бу 3 турбинаға өтеді, онда жылу энергиясы механикалық энергияға, ал 4 электргенераторында электрлік энергияға айналады. Өңделген бу толық конденсация жүретін 5 конденсаторға түседі, 6 конденсат сорғышымен конденсат 7 деаэраторға бағыттталып, 9 қыздырғыш арқылы 8 сіңіру сорғышымен қайтадан 1 пешке.

БКҚ екі цикл бар: Карно және Ренкин циклдары

#### 2 Карно циклы



Сурет 8.2 – Карно циклының P-V және T-S диаграммасы

0 нүктесі  $P_1$  қысым кезіндегі қайнап жатқан судың бастапқы күйі. Суда тұрақты температура және тұрақты қысым кезінде, (процесс 0-1) буға айналу жылуына тең, меншікті жылу мөлшері беріледі.

Алынған құрғақ қаныққан бу құбырында  $P_2$  қысымына дейін (процесс 1-2) 1 нүктеде адиабаталық кеңейеді. Қалыптасқан ылғалды бу тұрақты температура және тұрақты қысым кезінде нүкте 3 дейін (процесс 2-3) жартылай конденсацияланады. Бұл кезде құрғақтық дәрежесі  $x_3$  дейін төмендейді. Бұдан меншікті жылу мөлшері  $q_2$  алынады. Компрессорда бу бастапқы күйіне дейін 3 нүктеде адиабаталық сығылады және бу толығымен қайнаған суға айналады.

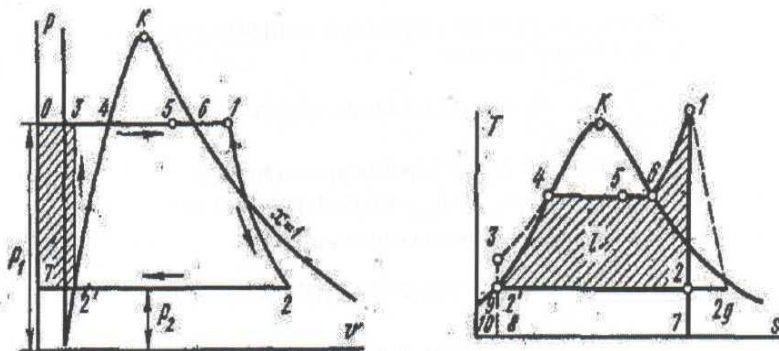
Карно циклында қыздырылған буды қолдану оның ПӘК арттырмайды. 8.2 суреттен көріп отырғанымыздай (T-S диаграммасында) циклдардың ПӘК 0123 және 0453 бірдей.

Карно циклының кемшіліктері:

1. Карно циклы пәк үлкен мәндерін бермейді.

2. Ылғал будың конденсациясы толығымен жүрмейді, яғни компрессор цилиндрінің көлемі үлкен болуы керек, ал ол металлдың шығынына әкеледі

3 Ренкин циклы

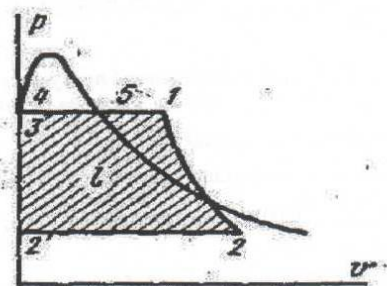


Сурет 8.3 – Ренкиннің БКҚ P-V және T-S диаграммалары.

БКҚ, будың толық конденсациясы жүретін, Ренкин циклы негізгі цикл болып табылады. Ренкинның 8.3-суретте идеал циклы берілген. 4 – нүкте  $P_1$  қысым кезіндегі қайнап жатқан су күйін сипаттайды. 4-5 сызығы пешегі буға айналу процессін сипаттайды, одан кейін бу  $P_1$  қысым кезінде қыздырғышта құрғатылады.

6-1 сызығы  $P_1$  қысым кезіндегі буды қыздыру процессін сипаттайды. Алынған бу бу турбинасында  $P_2$  қысымға дейін 1-2 адиабаталық кеңейеді. 2-2'  $P_2$  қысым кезінде сұйықтың қайнау күйіне дейін толық конденсацияланады. 2'-3 судың сығылу процессі сорғышта жүреді. 3-4 сызығы қыздыру кезіндегі су көлемінің өзгерісін сипаттайды.

Қысымы төмен болған жағдайда сорғыштағы адиабаталық сығылу кезінде су температурасының артуы ескерілмейді. Сондықтан Ренкин циклы келесі түрге келеді, сурет 8.4.



Сурет 8.4 - Ренкин циклы

Цикл сипаттамасы:

1.  $\Delta h$ -жылу бергіштік:

$$\Delta h = i_1 - i_2 \quad (8.1)$$

мұндағы  $i$  - қыздырылған бу энтальпиясы;

2.  $\eta_t$  - Ренкин циклінің термиялық ПӘК

$$\eta_t = \frac{i_1 - i_2'}{i_1 - i_2}; \quad (8.2)$$

мұндағы  $i_1$  және  $i_2$  – қыздырылған бу энтальпиясы,  $i_2'$ -конденсатордағы қыздырылған бу энтальпиясы су буының кестесі арқылы анықталады (2,бет.324-330;7,бет.452-454).

3.1 МДж энергияны өңдеуге кеткен будың теориялық меншікті шығыны:

$$d = \frac{1000}{i_1 - i_2} \quad (8.3)$$

1 кВт·сағ. энергияны өңдеуге кеткен будың теориялық меншікті шығыны:

$$d = \frac{3600}{i_1 - i_2} \quad (8.4)$$

Қорытынды: энергияны өңдеуге кеткен теориялық шығынды және ПӘК арттыру үшін, жылу бергіштікті арттырып, ал конденсатордағы қысымды азайту керек.

**Әдебиет:** 5, бет.69-77; 7, бет.306-316

**Бақылау сұрақтар:**

1. БКҚ циклы қандай қондырғылардан және агрегаттардан тұрады?

2. БКҚ жұмыс істеу принципі?
3. БКҚ қандай циклдер бар?
4. БКҚ Карно циклының жұмыс істеу принципі?
5. БКҚ Карно циклының кемшіліктері?
6. БКҚ Ренкин циклының жұмыс істеу принципі?
7. Жылу бергіштік дегеніміз не?
8. Энергияны өңдеуге кеткен будың меншікті шығыны дегеніміз не?
9. Ренкин циклының пәк қалай анықтайды?

### **Тақырып 9: Жылу алмасу теориясының негізі**

**Мақсаты:** жылу алмасудың негізгі түрлерін оқу, жылу өткізгіштіктің негізгі заңын және әр түрлі заттар үшін жылу өткізгіштіктің коэффициентін анықтау.

#### **Жоспар:**

- 1 Жылу алмасу түрлері, жылу өткізгіштігінің мәні, жылу өткізгіштігінің негізгі заңы (Фурье), жылу өткізгіштік коэффициенті
- 2 Шектік жағдайлар
- 3 Жылу өткізгіштігінің дифференциалдық теңдеуі

1 Жылу тасымалдаудың 3 әдіспен жүруі мүмкін:

1. Жылу өткізгіштігімен;
2. Конвекциямен;
3. Шағылумен (радиациямен).

Жылу алмасудың бұл әдістері әр түрлі және әр түрлі заңдармен сипатталады.

Жылу өткізгіштігімен жылу тасымалдау процессі температуралары әр түрлі денелер немесе бөлшектердің арасында жүреді. Жылу өткізгіштік жылу тасымалдаудың молекулярлық процессін сипаттайды. Денені қыздырған кезде оның кинетикалық энергиясы өседі.

Егер металл стерженнің бір жақ шетін қыздырсақ, онда біраз уақыттан кейін екінші шетінің температурасы да артады.

Жылу өткізгіштігімен жылу тасымалдауына жағдайларға тәуелді:

1. Дененің физикалық қасиетіне;
2. Оның геометриялық өлшемдеріне;
3. Дененің әр бөліктеріндегі температураның әр түрлілігіне.

Жылу тасымалдаудың екінші түрі – конвекция деп аталады. Газдың немесе сұйықтықтың қозғалыс жылдамдығы неғұрлым үлкен болса, соғұрлым жылудың конвекциялық тасымалдануы интенсивті жүреді. Бір уақытта конвекциялы және жылу өткізгіштігімен жүретін жылу тасымалдауды конвективті жылу алмасу деп атайды. Ол еркін және мәжбүрлі болуы мүмкін. Егер жұмыс денесінің қозғалысы жасанды жолмен (вентилятормен, компрессормен және т.б.), жасалса, онда бұндай жылу алмасу мәжбүрлі деп аталады. Егер жұмыс денесінің қозғалысы қыздыру нәтижесінде сұйықтықтың

әр бөлігіндегі тығыздықтың әр түрлілігі әсерінен пайда болса, онда еркін конвективті жылу алмасу деп аталады.

Жылу алмасудың үшінші түрі – шағылу. Шағылумен жылу беру процесі үш сатыдан тұрады:

- 1.Қандайда бір дененің ішкі энергиясының бір бөлігінің электромагниттік толқындар энергиясына айналуы;
- 2.Кеңістікте электромагниттік толқындардың таралуы;
- 3.Басқа дененің шағылу энергиясының бір бөлігін жұтылуы.

Төмен температура кезінде энергияны алмастыру инфракызыл сәулелермен жүзеге асырылады. Жылу алмасудың барлық үш түрінің жиынтығы күрделі жылу алмасу деп аталады.

## 2.Шектік шарттар.

Жылу берудің негізгі заңын қолдану үшін уақыттың бастапқы жағдайында денедегі температура таралуын, дененің өлшемдерін және геометриялық формасын, дененің және ортаның физикалық параметрін, шағылу денесінің қоршаған ортамен өзара әсерін білу қажет.

1-ші мүшенің шектік шарттары уақыттың әр моменті үшін денедегі температура таралуына беріледі.

2-ші мүшенің шектік шарттары әр уақыт моментінде жылу ағымының тығыздығымен беріледі.

3-ші мүшенің шектік шарттары ортаның температурасымен беріледі.

Конвективті жылу алмасу негізіне Ньютон – Рихман заңы алынған:

$$q = \alpha(t_{жс} - t_{ст}) \quad (9.1)$$

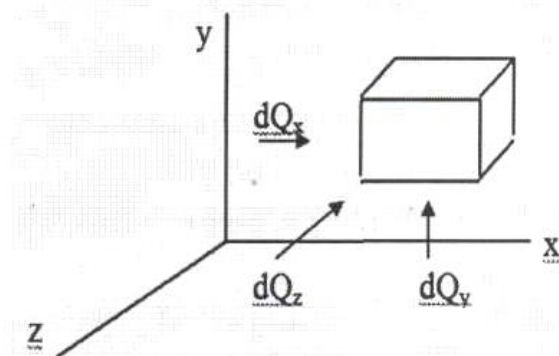
мұндағы  $q$  - жылу ағымының тығыздығы, Вт/м<sup>2</sup>;

$t_{жс}$  - қоршаған орта температурасы (сұйықтық), °C;

$t_{ст}$  - қабырға температурасы, °C;

$\alpha$  - жылу беру коэффициенті немесе пропорционалдық коэффициенті, Вт/м<sup>2</sup>К

## 3.Жылу өткізгіштігінің дифференциалдық теңдеуі



Сурет 9.1 – Жылу өткізгіштігі.



Денеді  $dx$ ,  $dy$  и  $dz$  қабырғалы параллелипедті қарастырайық.

Температурасы әр түрлі болғандықтан, параллелипед арқылы жылу  $x, y, z$  өсінің үш бағытында жүреді.

Фурье заңы бойынша:

$$\delta Q = \delta Q_x + \delta Q_y + \delta Q_z = \lambda dx dy dz d\tau \left( \frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{d^2 t}{dy^2} + \frac{d^2 t}{dz^2} \right) \quad (9.2)$$

Энергияның сақталу заңы бойынша:

$$dO = dx dy dz \rho c \left( \frac{dt}{d\tau} \right) d\tau \quad (9.3)$$

мұндағы  $dx dy dz$  - параллелипед көлемі;

$dx dy dz \rho$  - параллелипед массасы;

$\left( \frac{dt}{d\tau} \right) d\tau$  - уақыт бойынша температура өзгерісі.

Теңестірейік (9.2) және (9.3):

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left( \frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{d^2 t}{dy^2} + \frac{d^2 t}{dz^2} \right) \quad (9.4)$$

$\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{d^2 t}{dy^2} + \frac{d^2 t}{dz^2}$  Лаплас операторы деп аталады  $\nabla^2$ , ал өлшемін  $\lambda / \rho c$   $a$  деп

бөлеміз. Ол – температура өткізгіштігі деп аталады, яғни:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \nabla^2 t \quad (9.5)$$

(9.5) - жылу өткізгіштігінің дифференциалдық теңдеуі.

**Әдебиет:** 5, бет.69-77; 7, бет. 306-316

### **Бақылау сұрақтар:**

1. Жылу тасымалдау түрлері?
2. Жылу өткізгіштік дегеніміз не?
3. Жылу өткізгіштік қандай факторларға тәуелді?
4. Конвекция дегеніміз не?
5. Конвективті жылу алмасу неге тәуелді?
6. Сәулелі жылу алмасу дегеніміз не?
7. Шектік жағдайларды ата.
8. Жылу өткізгіштігінің дифференциалдық теңдеуін жаз.

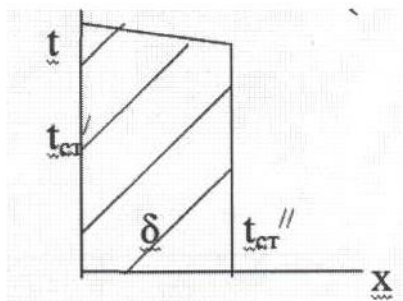
**Тақырып 10: Бір қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштік, көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштік.**

**Мақсаты:** бір қабатты және көп қабатты жылу өткізгіштігінің мәні, қабаттағы және қабырғадағы температураны анықтау, бір және көп қабатты қабырға арқылы өтетін жылу ағымын анықтау.

**Жоспар:**

- 1 Бір қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштігі.
- 2 Көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштігі, температураны және жылу ағымын анықтау.

- 1 Бір қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштігі.



Сурет 10.1 - Бір қабатты қабырға арқылы жылу өткізгіштігі.

Стационарлы жылу режимі кезінде дененің әр нүктесіндегі температура өзгермейді және уақытқа тәуелді емес, яғни  $dt/d\tau = 0$ . Сонда жылу өткізгіштігі мына түрге келеді:

$$\frac{d^2t}{dx^2} + \frac{d^2t}{dy^2} + \frac{d^2t}{dz^2} = 0 \quad (10.1)$$

Тұрақты шарттар кезінде  $y$  және  $z$  бойынша  $t$  - дан бірінші және екінші қосындысы 0 тең: яғни  $(d^2t/dx^2) = 0$ .

Интегралдау арқылы  $dt/dx = const = A$  аламыз, екінші рет интегралдап:  $t = Ax + B$  - түзу сызық теңдеуін аламыз:

$$\begin{aligned} x = 0: t = t'_{cm} &= B \\ x = \delta: t = t''_{cm} &= A\delta + t'_{cm}, \\ A &= \frac{t''_{cm} - t'_{cm}}{\delta} = \frac{dt}{dx} \end{aligned} \quad (10.2)$$

Фурье заңы бойынша жылу ағымының тығыздығы:

$$q = -\lambda \left( \frac{dt}{dn} \right) = -\lambda \left( \frac{dt}{dx} \right) = -\lambda \frac{t''_{cm} - t'_{cm}}{\delta} \quad (10.3)$$

немесе

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t'_{cm} - t''_{cm}) \quad (10.4)$$

$\tau$  уақыт аралығында қабырғаның беткі жағы  $F$  арқылы берілетін жалпы жылуі мөлшері  $Q$ :

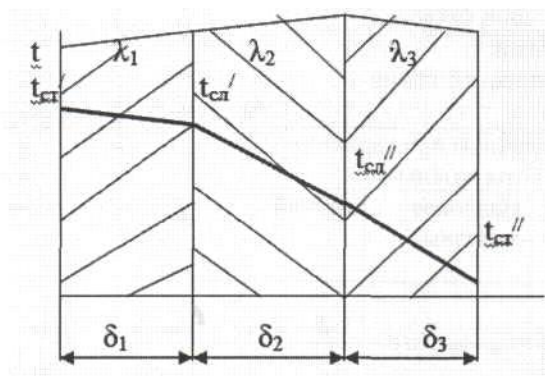
$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (t'_{cm} - t''_{cm}) \tau \quad (10.5)$$

мұндағы:  $\lambda/\delta$  - жылу өткізгіштігі;

$(t'_{cm} - t''_{cm}) = \Delta t$  - температуралық қысым.

Қабырғаның жылу өткізгіштігі арқылы берілетін жылу мөлшері қабырғаның жылу өткізгіштік коэффициентіне  $\lambda$ , оның ауданына  $F$ , уақыт аралығына, қабырғаның сыртқы бетінің температуралар айырмасына тура пропорционалды  $(t'_{cm} - t''_{cm})$  және  $\delta$  қабырға қалыңдығына кері пропорционалды.

2 Көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізу.



Сурет 10.2 - Көп қабатты қабырға арқылы жылу өткізу.

Үш қабатты қабырғаны қарастырайық, әр қабаттың қалыңдығы  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  тең, ал жылу өткізгіштігі  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  тең. Сыртқы беттің температурасы  $t'_{cm}$  және  $t''_{cm}$ , қабаттар арасындағы температура -  $t'_{cm}$  және  $t''_{cm}$ .

Әр қабат үшін жылу ағымы:

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_2} F (t'_{cm} - t''_{cm})$$

$$Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} F (t'_{cl} - t''_{cl}) \quad (10.6)$$

$$Q = \frac{\lambda_1}{\delta_2} F (t''_{cl} - t'_{cl})$$

температура айырмасы:

$$\begin{aligned} (t'_{cm} - t'_{cl}) &= \frac{Q \delta_1}{F \lambda_1} \\ (t'_{cl} - t''_{cl}) &= \frac{Q \delta_2}{F \lambda_2} \\ (t'_{cl} - t''_{cm}) &= \frac{Q \delta_3}{F \lambda_3} \end{aligned} \quad (10.7)$$

Алынған мәндерді қоссақ:

$$(t'_{cm} - t''_{cm}) = \frac{Q}{F} \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right), \quad (10.8)$$

$$Q = \left[ \frac{F (t'_{cm} - t''_{cm})}{\left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)} \right] \quad (10.9)$$

Қабат сандары үшін:

$$Q = \left[ \frac{F (t'_{cm} - t''_{cm})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \right] \quad (10.10)$$

$\delta/\lambda$  - қатынасы қабаттың ішкі термиялық кедергісі,

ал  $\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  - қабаттың толық ішкі термиялық кедергісі.

Қабаттар арасындағы температуралар:

$$t'_{cl} = t'_{cm} - \frac{Q \delta_1}{F \lambda_1}$$

$$t''_{cl} = t'_{cl} - \frac{Q \delta_2}{F \lambda_2}$$

$$t'''_{cl} = t'_{cl} - \frac{Q\delta_3}{F\lambda_3}$$

Тұрақты жылу өткізгіштігі кезінде әр қабаттағы температура сызықтық заң бойынша өзгереді.

**Әдебиет:** 5, бет. 83-89; 7, бет. 316-335

**Бақылау сұрақтары:**

- 1 Стационарлы режимнің математикалық түрі?
2. Жылу өткізгіштігі неге тәуелді?
3. Бір қабатты қабырға арқылы өтетін жылу ағымының тығыздығын және жалпы жылу ағымын жаз.
- 4 Температуралық қысым неге тең?
5. Жылу өткізгіштігі дегеніміз не?
6. Көп қабатты қабырға арқылы өтетін жылу ағымының тығыздығын және жалпы жылу ағымын жаз.
7. Қабаттың толық ішкі термиялық кедергісі дегеніміз не?

**Таырып 11: Шағылу**

**Мақсаты:** шағылумен жылу алмасудың физикалық мағынасы, шағылумен жылу алмасудың негізгі заңдары.

**Жоспар:**

- 1 Шағылумен жылу алмасудың физикалық мағынасы;
- 2 Шағылудың негізгі ағымы, шағылу заңдары;
- 3 Тәжірибеде шағылумен жылу алмасуды қолдану.

1 Шағылумен жылу алмасу дегеніміз электромагниттік энергия тасымалдау жүретін процесс. Жылулық шағылу – бұл дене температурасымен және оның оптикалық қасиеттерімен анықталатын шағылу. Шағылу, қысқа диапазонды толқын ұзындығына сәйкес, монохромды болуы мүмкін. Шағылу ағымы – бұл уақыт бірлігінде ауыстырылатын сәулелі энергия мөлшері,  $Q$  әріпімен белгіленеді, өлшем бірлігі - Вт. Ағым тығыздығы – барлық бағыт бойынша бет арқылы өтетін шаағылу ағымы  $E = Q/F$ . Шағылу ағымы денеге тиген жағдайда ол үшке бөлінеді: жұтылу, шағылыстыру, өткізу

$$E = E_n + E_{отр} + E_{пр} \tag{11.1}$$

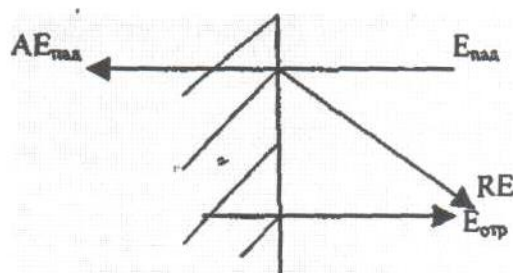
немесе

$$A + R + D = 1 \tag{11.2}$$

мұндағы:  $A$  - жұтылу коэффициенті;

$A=1$  - абсолютті қара дене (АҚД);  
 $R$  - шағылыстыру коэффициенті;  
 $R=1$  - абсолютті ақ дене (ААД);  
 $D$  - өткізу коэффициенті;  
 $D=1$  - абсолютті өткізуші дене.

2 Денелер арасында жылу алмастырудың сәулелі шағылуы кезінде, процессті жеңілдету үшін, сәулелі ғылымдардың арнайы классификациясын еңгізеді. (сурет 11.1)

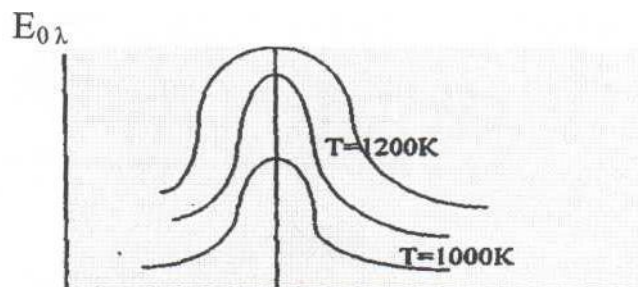


Сурет 11.1 – Шағылу ағымдары

Берілген дене қасиеттеріне және температураға тәуелді шағылуды жеке шағылу деп атайды. Шағылу ағымының мынадай түрлері бар: түсетін және жұтылатын шағылу. Жеке және шағылыстыру ағымдарының қосындысы эффективті шағылу ағымы деп аталады. Жеке және жұтылу ағымдарының айырмасы нәтижелік шағылу деп аталады.

Шағылу заңдары.

Планк заңы абсолютті қара дененің толық энергия мөлшері және температура арасында байланыс орнатады:  $E_{0\lambda} = f(\lambda, T)$ , мұндағы  $E_{0\lambda}$  -  $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ , ара қашықтықтағы толқын ұзындықтарына арналған абсолютті қара дененің жеке шағылу ағымының тығыздығы.



Сурет 11.2 – Шағылу ағымы.

Берілген температура үшін сәйкесінше өзінің толқын ұзындығы болады. Бұл толқын ұзындығы мына теңдеуден анықталады (Вин заңы):

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,9 \text{ (мм} \cdot \text{К)} \quad (11.3)$$

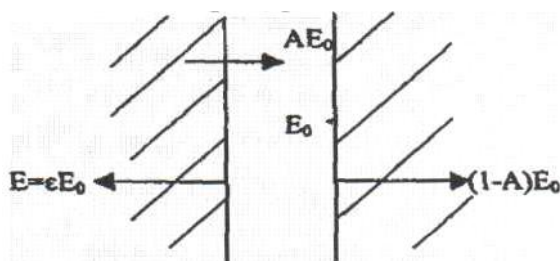
Стефан – Больцман заңы абсолютті қара дененің жеке интегралды шағылу мен оның температурасы арасында байланыс орнатады:

$$E_0 = C_0(T/100)^4 \quad (11.4)$$

мұндағы:  $C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$  шағылу коэффициенті, ол 0 ден 5,67 дейінгі шегінде өзгереді. Сонымен абсолютті қара дененің тығыздық ағынының шағылуы температураның төртінші дәрежесіне пропорционалды болады.

Кирхгоф заңы дененің энергияны шағылыстыру және жұтылу қабілеттілігінің арасында байланыс орнатады. Температурасы  $T$ , жұтылу қабілеттілігі  $A$  және жеке шағылу  $E$  дене берілсін. Оған параллель белгілі бір қашықтықта параметрлері:  $T_0$ ,  $A_0$ ,  $E_0$  абсолютті қара дене орналасқан. Температурасы  $T$  дене үшін нәтижелі шағылу ағымын табайық:  $q_{\text{рез}} = E - AE_0$  (сурет 11.3).

Сонымен термодинамикалық тепе – теңдік кезінде шағылудың жұтылу коэффициентіне қатынасы, барлық денелер үшін, бірдей және қара дененің шағылуы, сол толқын ұзындығына және сол температураға тең болады.



Сурет 11.3 - Кирхгоф заңы

Қарастырылған заңды абсолютті қара дене үшін қолдануға болады. Нақты денелер үшін сұр дене ұғымы қолданылады. Сұр дененің шағылу спектрі:

$E_\lambda = f(\lambda, T)$ .  $E$  мәні әр түрлі денелер үшін 0 ден 1 дейін өзгереді және қараю дәрежесі деп аталады. Қараю дәрежесі белгілі бір температурада дененің шағылу дәрежесінің абсолютті қара дене ағымына қатынасын сипаттайды:

$$E = \varepsilon C_0(T/100)^4$$

мұндағы  $C = \varepsilon C_0$  - сұр дененің шағылу коэффициенті. Қараю дәрежесі дене табиғатына, өңделу бетіне, сонымен қатар оның температурасына тәуелді.

**Әдебиет:** 5, бет.90-96; 7, бет.402-422

### Бақылау сұрақтар:

1. Шағылумен жылу алмасу қалай жүреді?
2. Шағылу ағымы дегеніміз не?
3. Шағылу ағымы денеге түскенде не болады?
4. Негізгі шағылу заңдарын ата.
5. Шағылумен жылу алмасудың ерекшеліктері?

### Тақырып 12:Отын және жанудың негізгі теориялары

**Мақсаты:** отынның физикалық мағынасы, отынның негізгі агрегаттық күйін және қандай жағдайларда жану процесі жүретінін анықтау.

### Жоспар:

- 1 Отын, отын классификациясы;
- 2 Жану процесі, жану процессін есептеу;
- 3 Жағу қондырғысы.

#### 1 Отын.

Жылу энергиясының негізгі көзі – отын болып табылады. Менделеевтың анықтамасы бойынша – жаңғыш заттар.

Агрегаттық күйі бойынша олар мынадай түрлерге бөлінеді:

1. Қатты; 2. Сұйық; 3. Газ тәрізді.

Отын органикалық болуы мүмкін. Сонымен қатар пайда болу түріне байланысты табиғи және жасанды болуы мүмкін.

Отынның жалпы классификациясы.

Агрегаттық күйі	Пайда болу түрі	
	Табиғи	Жасанды
Газ тәрізді	Табиғи және жолаушы газ	Газдар: генераторлы, коксты, био газдар
Сұйық	Мұнай	Жағу мазуттары, дизельдік отын, бензин, керосин және т.б.
Қатты	Антрацит, тас көмір, ағаш, а/ш өндірісінің қалдықтары	Кокс, жартылай кокс, көмір тасты брикеттер, ағаш көмір

Органикалық отынды жағу кезінде жылу отынның жанғыш компоненттері мен ауа оттегісінің қосылысынан бөлінеді.

### Отынның құрамы және сипаттамасы

Органикалық отын құрамына жанатын және жанбайтын элементтер кіреді. Қатты және сұйық отындардың құрамына мынадай жанғыш заттар кіреді: көміртегі  $C$ ; сутегі  $H$ ; күкірт  $S$  және жанбайтын заттар: оттегі  $O$ ; азот  $N$ ; зола  $A$ ; ылғалдық  $W$ . Отынға кіретін минералды қоспалар золу  $A$



түзеді, ол жану процессіне қатыспайды, сондықтан ол отынның жылулық қасиетін төмендетеді.

Органикалық отындар сипатталады:

1) органикалық массасымен:  $C^0 + H^0 + S^0 + O^0 + N^0 = 100\%$

2) жану массасымен:  $C^G + H^G + S^G + O^G + N^G = 100\%$

3) құрғақ массамен:  $C^c + H^c + S^c + O^c + N^c + A^c = 100\%$

4) жұмыстық массамен:  $C^P + H^P + S^P + O^P + N^P + A^P + W^P = 100\%$

#### Қатты отын

Отын	Түсі	Күл құрамы, %	Ылғалдылығы, %	$Q_H^P$ кДж/кг
Қоңыр көмір	қоңыр	15-30	15-30	8400-18800
Тас көмір	қара	5-20	5-30	20730-31400
Антрацит	қара	1-15	3-5	25000-27000
Тақтатастар		50-60	15-20	5800-10800
Торф	Сары, қоңыр	8-16	85-95	12600
Ағаш			50-60	18800-19200

#### Газ тәрізді отындар

Газ тәрізді отындар пеш қондырғыларында, жылугенераторларында, су жылытқыштарда, газ жылытқыш қондырғыларда, ГЖҚ қолданылады.

Сығылған газды табиғи, мұнайлы, коксты газдардан алады. Құрамы: метан, көміртегі қышқылы, сутегі, азот қоспасы, көмір қышқыл газы, су буы және т.б.

Табиғи газ көміртегі, сутегі және инертті газдардың қоспасы бар метаннан тұрады.

Жану процессін есептеу.

1 кг отынды жағу үшін қажетті көміртегі мөлшері:

$$L_{\text{тон}} = \frac{8/3C^P + 8H^P + S^P - O^P}{100} \quad (12.1)$$

мұндағы:  $C^P, H^P, S^P, O^P$  - отындардағы элементтер құрамы, массалық пайызда.

Отынды жағар кезде таза көміртегі жіберілмейді, оған 23,2 % көміртегі бар ауа жіберіледі. Сонда 1 кг толық отынды жағу үшін қажетті ауа мөлшері:

$$L_{1\text{тон}}^0 = \frac{8/3C^P + 8H^P + S^P - O^P}{23,2}, \text{ кг} \quad (12.2)$$

Егер ауа мөлшерін көлемдік бірлікте өрнектеу керек болса, онда теңдеуді қалыпты жағдайда ауаның тығыздығына бөлеміз ( $t=0 \text{ C}, P=101,3 \text{ кПа}$ ):

$$L_1^0 = \frac{8/3C^P + 8H^P + S^P - O^P}{23,2} = \frac{2,63C^P + 8H^P + S^P - O^P}{30} \quad (12.3)$$

Газ тәрізді отынды жағу үшін қажетті ауа мөлшерін көлемдік бірлікте мына формула арқылы табамыз:

$$L_1^0 = \frac{0,5(CO + H_2) + (n + m/4)C_n H_m - O_2}{21} \quad (12.4)$$

мұндағы  $n$  - көміртегі атомдарының саны;  $m$  - сутегі атомдарының саны; 21 – ауадағы оттегінің көлемдік құрамы.

Ауаның нақты мөлшері теориялық жағдайларға қарағанда отынның нақты жану

жағдайынан көп. Сондықтан мына қатынас орнайды:  $L_{\text{дв}} / L_0 = \alpha$  - ауаның

шығындалу коэффициенті, осыдан  $L_{\text{дв}} = \alpha L_0$ ,  $\alpha = 1,05 - 1,6$ .

### 3 Жағу қондырғысы.

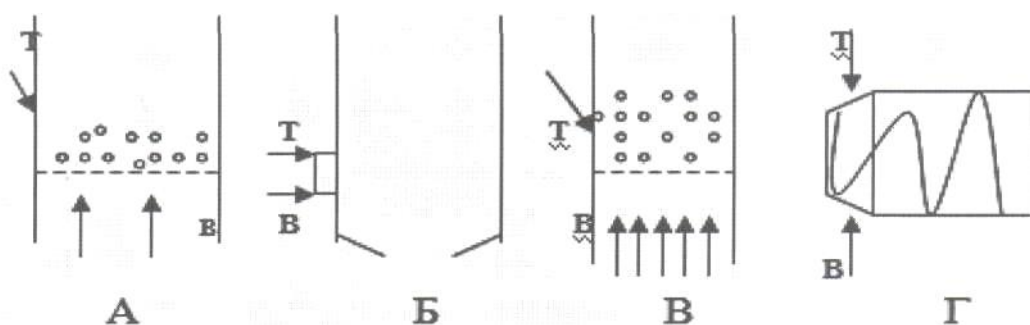
Отынның жану процесі жүретін қондырғы жағу қондырғысы деп аталады. Жағу конструкциясы қамтамасыз ету керек:

1. Ауаны және отынды ыңғайлы жіберу;
2. Шлақты және күлді жою;
3. Жану процесін реттеу;
4. Жоғары өнімділік;
5. Отынды үнемдеп жағу.

Жағу процессінің классификациясы:

1. қызмет көрсетуі бойынша:

- а) қолмен; б) механикаландырылған; в) жартылай механикаландырылған;



Сурет 12.1 - А - қабатты; Б – камералы, В - «қайнап жатқан қабатта»; Г – циклонды.

2. отын жіберу режимі бойынша:

- а) отынды ретпен жіберу отынды кезең-кезеңмен берумен; б) үздіксіз жіберу;

3. отынды жіберу әдісі бойынша:

4. пешпен өзара байланысы бойынша:

- а) ішкі (пеш ішінде); б) сыртқы (қыздырудың жоғарғы бетінде);

в) сыртқы (пештің қыздырылмайтын бетінде).

Жағудың негізгі көрсеткіштері:

1. қуаттылығы; 2. тордың жылулық жүктемесі; 3. жағу кеңістігінің жылулық жүктемесі; 4. ПӘК.

**Әдебиет:** 5, бет.118-145

**Бақылау сұрақтары:**

1. Менделеев анықтамасы бойынша отын дегеніміз не?
2. Отынның құрамын ата?
3. Отын немен сипатталуы мүмкін?
4. Газ тәрізді отындардың түрлері.
5. Қатты отынның қандай түрлерін білесіз?
6. Сұйық отын қандай параметрлермен классификацияланады?
7. Ауаның шығындалу коэффициенті дегеніміз не?
8. Жану процесі дегеніміз не?
9. Жағу қондырғысы дегеніміз не?
10. Жағу қондырғысының негізгі көрсеткіштерін ата.

**Тақырып 13: Пеш қондырғылары.**

**Мақсаты:** пеш қондырғылары, бу пештерінің сұлбасы, пеш агрегаттарының негізгі сипаттамасы.

**Жоспар:**

- 1 Пеш қондырғылары, пеш қондырғыларының сұлбасы.
- 2 Пеш қондырғыларының классификациясы.

**1 Пеш қондырғылары.**

Ыстық су және бу түрінде жылу энергиясын өндіруге арналған қондырғылар жиынтығын пеш қондырғысы деп атайды. Бу пештерінің сұлбасы.

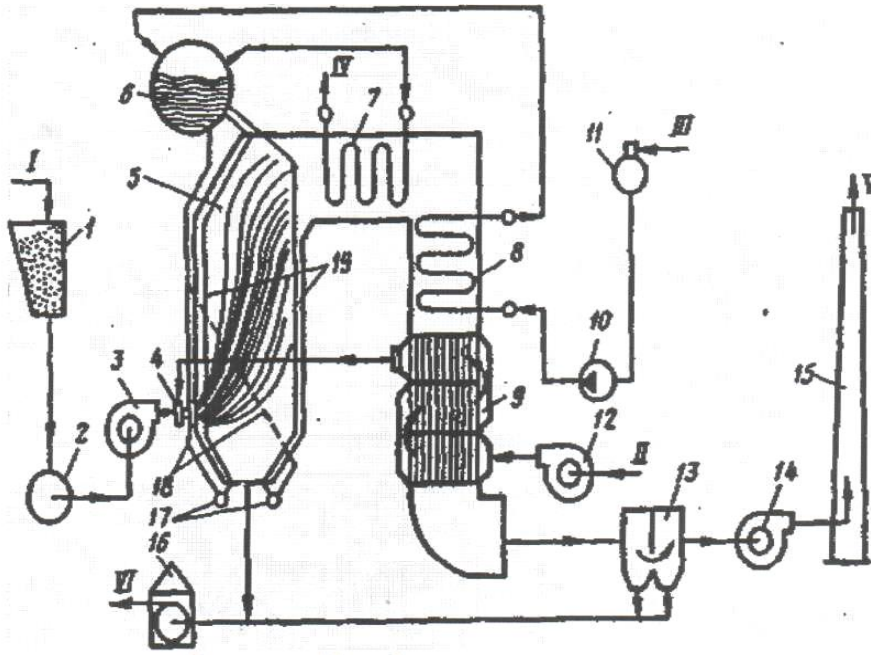
Жұмыс істеу принципі.

Пеш қондырғылары пеш агрегаттарынан және көмекші қондырғылардан тұрады.

Отын 1 қабылдағыш бункерден 2 көмір ұнтақтағыш диірменде жіберіледі. Ұнтақталғаннан кейін желдеткіш арқылы 4 жағу құрылғысына жіберіледі.

Жағу құрылғысына сонымен қатар жануға қажетті ауа жіберіледі.

Деаэрационды қондырғыдан 11 кейін су 10 сіңіру сорғышы арқылы 8 су үнемдегішке жіберіледі, онда ол ұшқын газдармен алдын ала қыздырылып, пештің 6 барабанына өтеді.



Сурет 13.1 – Бу пештерінің сұлбасы

Пеш 18 жіберу құбырларымен жабдықталған. Су 6 барабаннан 17 коллекторға жіберіледі және булану құбыры 19 немесе 7 бу қыздырғыш жүйесі арқылы қайтадан барабанға келеді.

2 Жылу энергиясының қолдану мақсатына байланысты мынадай түрлерге бөлінеді: энергетикалық, өндірістік жылыту және жылыту.

Энергетикалық пештер электрэнергиясын өңдеуші бу күштік қондырғыларды бумен қамтамасыз етеді және көбінесе электрлік станциялар құрамына кіреді.

Өндірістік жылыту пештер өндірістің технологиялық процесстерін және ғимараттың ыстық сумен қамтамасыз етуін, жылыту және желдеткіш жүйелерді энергиямен қамтамасыз етілуін қадағалайды.

Жылыту сондай мақсатта қолданылады, бірақ тұрғын үйлерді жылытуға арналған.

Қуаттылығына қарай пештер мынадай түрлерге бөлінеді:

қуаттылығы аз қондырғылар, қуаттылығы орташа қондырғылар және қуаттылығы үлкен қондырғылар <3,5 МВт; 3,5 МВт; >3,5 МВт.

Пештің техникалық сипаттамасы қыздыру бетіне тәуелді.

Пештің жылу тасымалдауына байланысты су жылытқыш және булы болып бөлінеді. Су жылытқыш пештердің негізгі көрсеткіштері – 1). Жылу қуаттылығы (жылу өндіргіштігі); 2). Ыстық су температурасы. Бу пештерінің негізгі көрсеткіштері – 1). Бу қуаттылығы (бу өндіргіштігі); 2). Бу температурасы; 3). Бу қысымы.

Пештердің үнемділігі оның ПӘК бағаланады, қатты және сұйық отындармен жұмыс істейтін барлық шойын секциялы пештер үшін 0,6-0,7, ал газ тәрізді отындарда 0,8-0,85.

**Бақылау сұрақтары:**

1. Пеш қондырғысы дегеніміз не?
2. Бу пештерінің жұмыс істеу принципі?
3. Энергетикалық пештер не үшін қажет (жылыту, өндірістік- жылыту)?
4. Бу пештерінің негізгі көрсеткіштері?
5. Су қыздыру пештерінің негізгі көрсеткіштері?
6. Пеш қондырғыларының тиімділігі қалай бағаланады?

**Тақырып 14: Пеш қондырғыларының жылу балансы**

**Мақсаты:** жылу балансының түсінігі, баланстың кіріс және шығындалу бөлігі қандай бөлімдерден тұрады, жылу шығынын төмендету әдісі.

**Жоспар:**

1. Бу пештерінің кіріс бөлігі, стационарлық шарттар.
2. Пештің шығындалу бөлігі.
3. Пештің пәк
4. Жылу шығыны.

1 Бу пештерінің жылу балансы.

Пеш агрегаттарының жылу балансы 1 кг қатты немесе сұйық отынға немесе 1 м газ тәрізді отындарға қатысты стационарлық шарттар үшін жазылады:

кіріс бөлігі = шығындалу бөлігі.

$$Q_{прих} = Q_n^p + Q_T + Q_v + Q_n \quad (14.1)$$

мұндағы:  $Q_n^p$  - жылудың жұмыстық массасына қатысты отынның төменгі жылуы, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_T$  - отынның физикалық жылуы,  $Q_T = C_T \cdot t_T$ ;

$C_T$  - отынның жылу сыйымдылығы,  $t_T$  - отынның температурасы;

$Q_v$  - ауаның физикалық жылуы,  $Q_v = \alpha_{yx} V^0 C'_v t_{x.v.}$ ;

$\alpha_{yx}$  - ұшқан газдардағы ауаның шығындалу коэффициенті;

$V^0$  - жануға қажетті ауа мөлшері;

$C'_v$  - ауаның меншікті көлемдік жылу сыйымдылығы;

$t_{x.v.}$  - ауа қыздырғыш алдындағы салқын ауа температурасы;

$Q_b$  - будың физикалық жылуы;  $Q_b = g(h_{yp} - h_{yш})$ ;

$g$  - үрленген будың шығыны;

$h_{ур}$  - үрленген будың энтальпиясы;

$h_{уш}$  - ұшқан газдардағы су буының энтальпиясы.

$Q_H^3 \gg (Q_T + Q_B + Q_{II})$  болғандықтан, жобамен  $Q_{прих} = Q_H^P$  аламыз.

2 жылу балансының шығындалу бөлігін мына формуламен анықтаймыз:

$$Q_{шыг} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (14.2)$$

мұндағы:  $Q_1$  - пайдалы қолданылатын жылу (пеште, бу қыздырғышында, су үнемдегіште, ауа қыздырғышында қолданылатын);

$Q_2$  - ұшқан газдардағы жылу шығыны;

$Q_3$  - жағар отындарының химиялық толықсыздығынан пайда болған жылу шығындары;

$Q_4$  - жағар отындарының механикалық толықсыздығынан пайдаболған жылу шығындары;

$Q_5$  - қоршаған ортадағы жылу шығыны;

$Q_6$  - шлактың физикалық жылуының шығыны.

$Q_{шыг}$  бөліп, 100% көбейтсек, онда:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 \quad (14.3)$$

3 Пештің пәк пайдалы қолданылатын жылудың  $Q_1$  барлық жылудың қатынасымен анықталады  $Q_{шыг}$ :

$$\eta_k = \frac{Q_1}{Q_{шыг}} = q_1 = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6 \quad (14.4)$$

$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$
6-15%	0-2%	1-12%	0,5-3%	0-5%

4 Пеш қондырғыларының жылу шығынын мына формуламен анықтаймыз:

$$B = \frac{D(h_{пер} - h_{нв}) + D_{пр}(h' - h_{нв}) + D_H(h'' - h_{нв})}{Q_H^P \eta_k} q_1 \quad (14.5)$$

мұндағы :  $B$  - отынның шығыны, кг/ч немесе м<sup>3</sup>/ч;

$D, D_{ур}, D_{канн}$  - қаныққан будың , үрленген судың қыздырылған будың шығыны, кг/ч;

$h_{пер}, h_{не}, h', h''$  - қаныққан будың , сіңірілген судың, үрленген судың қыздырылған бу энтальпиясы, кДж/кг.

Қажетті қыздыру бетін анықтау.

Қыздыру бетінің қосындысын мына формуламен анықталады:

$$\Sigma F_k = \frac{(1,1...1,2)\Sigma Q_p}{q} \quad (14.6)$$

мұндағы: 1,1... 1,2 – пеш қондырғыларының өндірістік емес шығынын ескеретін, қор коэффициенті;

$\Sigma Q_p$  - жылу энергиясының максималды шығыны, Вт;

$q$  - қыздыру бетінің жіберілетін жылу кернеуі, Вт/м<sup>2</sup>.

**Әдебиет:** 5, бет. 157-158

### **Бақылау сұрақтар:**

1. Пеш қондырғыларында жылу балансы қандай шарттарға тәуелді ?
2. Жылу балансының қандай бөліктерден тұрады?
3. жылу балансының шығындалу бөлігін ата.
4. Пеш қондырғысының пайдалы әсер коэффициентін қалай анықталады?
5. Пеш қондырғысының отын шығыны неге тәуелді?

### **Тақырып 15: Пеш қондырғыларының көмекші құралдары**

**Мақсаты:** пеш қондырғыларының көмекші құралдары туралы мәліметтер, агрегаттарды қосу сұлбасы, көмекші құралдардың классификациясы.

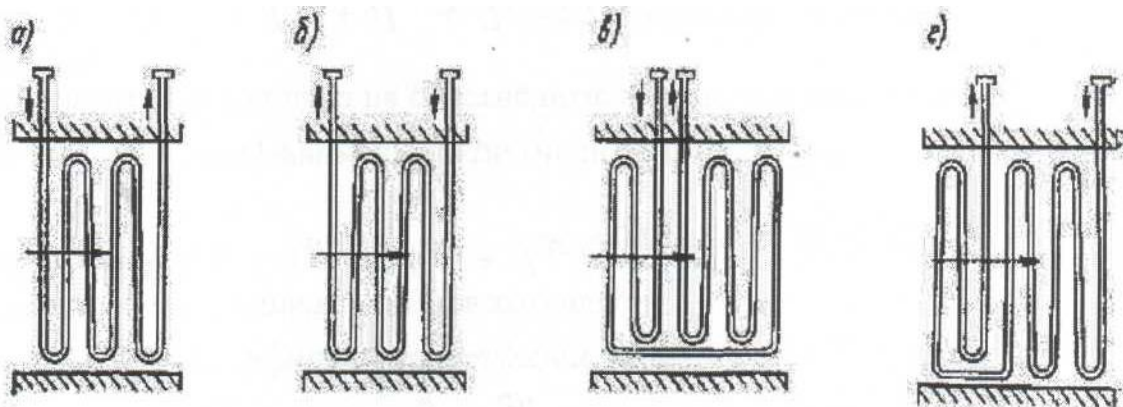
### **Жоспар:**

1. Бу қыздырғыштар
2. Сулы экономайзерлер
3. Ауа қыздырғыштар
4. Пеш қаптамасы
5. Суды тазарту
6. Түгін құбырлары.

Пеш қондырғыларының конструкциясы және көмекші құралдар.

1 Бу қыздырғыштары мынадай түрлерге бөлінеді: жылу беру әдісіне байланысты радиационды және конвективті. Радиационды қыздырғыштар – жылу ағымы шағылу әсерімен беріледі. Конвективті температурасы төмен жерлерде орналасқан, сондықтан жылу конвекциядан кейін беріледі.

Оларды диаметрі 22...54 мм құбырлардан жасайды. Газ және бу ағымының қозғалыс бағытына байланысты тура ағымды, кері ағымды және ағымның аралас қозғалыс болып бөлінеді.



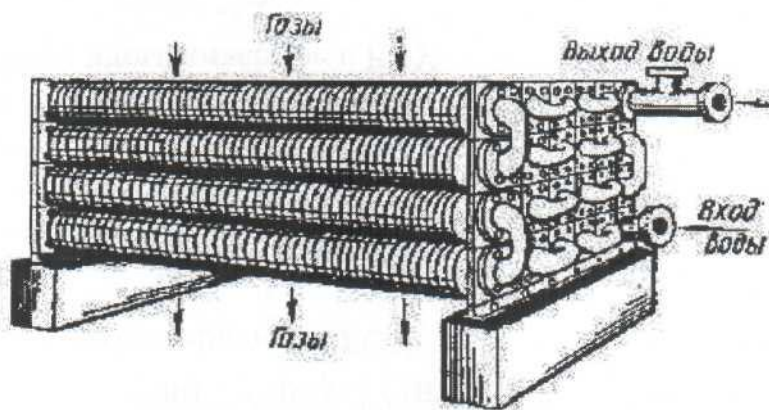
- а – тура ағымды;
- б – кері ағымды;
- в – қос кері ағымды;
- г – аралас ағымды

Сурет 15.1 – Бу қыздырғышындағы газдың және будың қозғалыс сұлбасы

## 2 Су үнемдегіш (экономайзерлер).

Су үнемдегіштер түтінді газдармен шығатын суды қыздыру үшін қолданылады.

Су үнемдегіштердің жалпы түрі 15.2 суретте берілген.



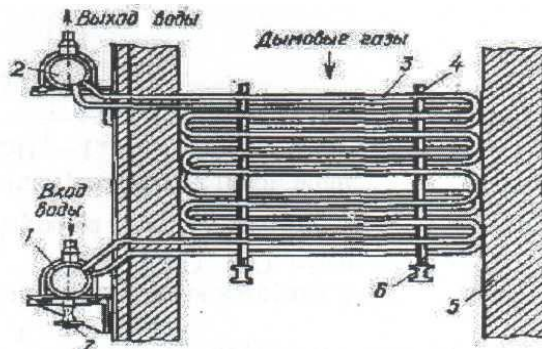
Сурет 15.2 – Су үнемдегіштердің жалпы түрі.

Су үнемдегіштерді құйылған болат және шойын құбырларынан жасалады.



Шойынды құбырлардың жылу беруді арттыруға арналған сырқы қатарлары бар. Құбырдағы су қозғалысы төменнен жоғары қарай тігінен жүреді.

Суды жылыту дәрежесіне байланысты, үнемдегіштер қайнамайтын және қайнайтын болып бөлінеді.



Сурет 15.3 – Болат жыланды су үнемдегіштер.

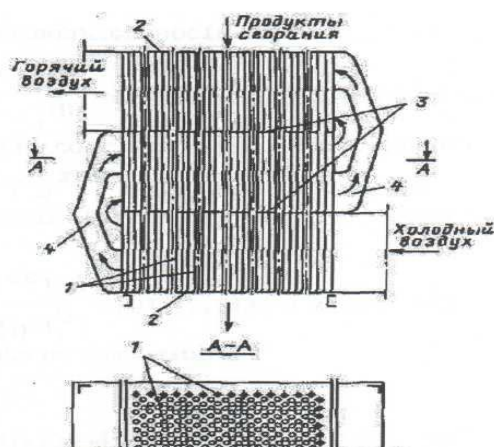
1 – төменгі кіру коллекторы; 2 – жоғарғы шығу коллекторы; 3 – жыланды түтікшелер; 4 – жыланды түтікшелер тірегі; 5 - қаптама; 6 – ауалы салқындатқышты тірек арқалығы; 7 – су шығару.

15.3 суретте болат жыланды су үнемдегішкөрсетілген.

### 3 Ауа қыздырғыш

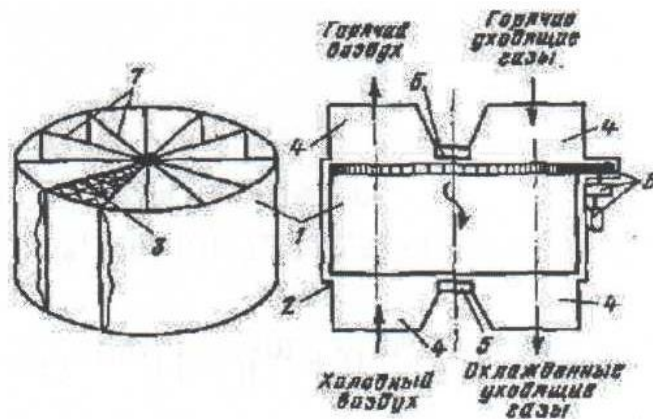
Ауа жылытқыштың әрекеттік принципі бойынша - рекуперативті және регенеративті болып бөлінеді.

Рекуперативті ауа жылытқышта ауа газ құбырмен жоғарыдан төмен қарай қозғалып, құбыр аралық кеңістіктегі көлденең құбырмен екі – үш жүріс жасайды. Ұшпалы газ диаметрі 30...40 мм тік құбырмен жүреді. Рекуперативті ауа жылытқышының сұлбасы 15.4 суретте көрсетілген.



Сурет 15.4 – Рекуперативті үш жүрісті құбырлы ауа жылытқышы:

1 - құбырлар; 2 – құбырлы тақташалар; 3 - ажыратқыш; 4 - өткізу қорабы.



Сурет 15.5 – Регенеративті айналушы ауа жылытқыш.

1 - ротор; 2 – жылжымайтын қаңқа; 3 - набивка; 4 – газды және ауаны әкелу және аул қорабы; 5 – газдық және ауалық ағындарды бөлетін секторлы плиталар, 6 – жетек механизмі (электрқозғалтқышы, редукторлар,); 7 – ауаның және жану өнімдерінің орын ауыстыруына кедергі жасайтын ротордың тегіс қабырғасы.

#### 4 Пеш қаптамасы

Пеш қаптамасы газдық тығыздықтың және қоршаған ортаның жылу шығынын азайтуға арналған отқа төзімді және жылу изоляциясының конструкциясын сипаттайды. Пеш қаптамасы отқа төзімді металл бөлшектерден қыстырылған қызыл кірпіштерден жасалады.

#### 5 Суды тазарту.

Су құрамында төмендегідей зиянды қоспалар бар:

1. Ерімейтін механикалық қоспалар (күм, саз);
2. Суда еріген тұздар (кальций, магний);
3. КТОзуға бейімді газдар (оттегі, ауа, көмір қышқыл газы).

Суды механикалық қоспалардан түндыру немесе фильтрация арқылы тазартады.

Химиялық әдіспен судағы тұздарды тазартады: химиялық қосылыстар арқылы магний және кальций иондарын натрий немесе сурегі иондарымен ауыстыру.

Деаэраторда суды қыздыру кезінде суда еріген газдарды жояды.

#### 6 Түтінді құбырлар.

Пеш қондырғыларының қуаттылығына және құрылыс шаттарына байланысты түтінді құбырлар мынадай түрлерге жіктелуі мүмкін:

- қабырға ішінде;
- қосымшалы;
- бөлек тұратын.

Қабырға ішіндегі құбырларды үлкен қуатты пештерден түтінді газды айдау үшін қолданылады.

Қосымша құбырлар ғимарат қабырғаларына орнатады. Бұндай құбырлар қуаттылығы аз орташа қуаттылықты пештерде қолданылады.

Бөлек тұратын құбырлар, қабырға сыртынан 3 метрге шығарылған.

**Әдебиет: 5, бет. 149-153**

**Бақылау сұрақтар:**

1. Бу қыздырғыштардың түрлері?
2. Бу қыздырғыштары не үшін қажет?
3. Сулы экономайзер классификациясын ата.
4. Сулы экономайзерлер не үшін қажет?
5. Ауа қыздырғыштарының жұмыс істеу принципін ата?
7. Пешті қаптау не үшін қажет?
8. Түгін құбырларының классификациясын ата.

## **Қорытынды**

Бұл оқулықта "Жылу техникасы негіздері" пәні бойынша дәрістердің дүйсенбі күнгі тезистері ұсынылған. күнтізбелік-тақырыптық жоспарға және үлгілік оқу бағдарламасына сәйкес материалдар баяндалды. Болашақта студенттер осы пәнді осы дәрістердің көмегімен оқып, алынған материалды бақылау сұрақтарының көмегімен түзете алады.

## Қолданылған әдебиеттер тізімі

- 1 Сыдыков Ш.Қ., Жылу техникасының негізі. Алматы:Қаз ҰАУ, 2008.
- 2 Брюханов О.Н. Основы гидравлики и теплотехники. М: Академия, 2004.
- 3 Брюханов О.Н. Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики. М: ИНФРА-М, 2005.
- 4 Рабинович О.М. Энергосберегающие системы теплоснабжения зданий. СПб, 2003.
- 5 Драганов Б. Х. «Теплотехника и применение теплоты в с/х». М. Агропромиздат. 1991.
- 6 Нащекин В. В. «Техническая термодинамика и теплопередача». М.1976.
- 7 Калиев Б.К. Тулубаев Ф.Х. Жылу техникасының негіздері. Оқу құралы. КМУ, 2019.
- 8 Тулубаев Ф.Х. Жылу техникасының негіздері. зертханалық жұмыстарға арналған нұсқаулық. КМУ, 2019.