ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА
ИНСТИТУТИ

Э. Ў. МАДАЛИЕВ

ИССИҚЛИК ТЕХНИКАСИ

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим Вазирлиги "Технологик машиналар ва жиҳозлар" таълим йўналиши бўйича бакалаврлар, учун дарслик сифатида тавсия этган.

"ФАРҒОНА" НАШРИЁТИ - 2002

Тақризчи: *Тошкент Архитектура қурилиш институтининг "Инженерлик коммуникацияларини лойиҳалаш, қуриш ва ишлатиш" кафедраси мудири доцент Ю.К.РАШИДОВ.*

МАДАЛИЕВ Э.Ў.

ИССИҚЛИК ТЕХНИКАСИ

Олий ўқув юртлари учун дарслик.

"Фарғона" нашриёти; 2001.-322 бет.

Ушбу дарслик Олий таълимнинг В 5520700-"Технологик машиналар ва жиҳозлар" таълим йўналиши бўйича билим олаётган талабалар учун мўлжалланган.

Дарсликда асосий эътибор термодинамиканинг қонун ва қоидаларига ва улар асосида қурилган иссиқлик машиналарида содир бўлаётган термодинамик жараёнларга қаратилган.

Дарсликда техникавий термодинамика асослари ва иссиқлик алмашинувининг назарий асослари, иссиқлик - куч қурилмаларининг иш жараёнлари ва ёқилғининг ёниш жараёнлари, қозон агрегатлари ва уларнинг қурилмалари, буғ ва газ турбинали қурилмалар, совитиш машиналари ўрганилган.

©"ФАРҒОНА " НАШРИЁТИ, 2001 ЙИЛ

СЎЗ БОШИ

Иссиқлик техникаси курси умумтехника фанлари қаторига киради. Ушбу курс ўқувчиларни турли хил энергиянинг олиниши ва ўзгартирилиши жараёнлари билан, иссиқликнинг бир физикавий жисмдан бошқасига узатилиш усуллари, шунингдек, турли хил иссиқлик-буғ генераторлари, иссиқлик машиналари ва аппаратларининг тузилиши ва ишлаши билан таништиради.

Иссиқликдан фойдаланишнинг икки: энергетикавий ва технологик тури бор. Иссиқликдан энергетикавий фойдаланиш иссиқликни механикавий ишга айлантириш жараёнларига асосланган. Бу жараёнлар техникавий термодинамикада ўрганилади.

Иссиқликни ишга айлантиришда фойдаланиладиган қурилмалар иссиқлик двигателлари дейилади. Уларга ички ёнув двигателлари, буғ ва газ турбиналари киради. Иссиқликдан технологик фойдаланиш турли хил технологик жараёнларни амалга оширишда бевосита қиздириш (ёки совитиш) жараёнлари учун иссиқликдан фойдаланишга асосланган. Иситиш ва совитиш жараёнларини амалга оширишда қўлланиладиган қонунлар иссиқлик узатиш бўлимида баён қилинган.

Бу иккала бўлим техникавий термодинамика билан иссиқлик узатиш бўлими иссиқлик техникаси умумий курсининг асосий қисми ҳисобланади.

Ушбу дарслик Олий таълимнинг В. 5520700 - "Технология машиналар ва жиҳозлар" таълим йўналиши бўйича билим олаётган талабалар учун мўлжалланган.

АСОСИЙ ШАРТЛИ БЕЛГИЛАР

T - абсолют температура, K;
t - музнинг эриш нуқтасидан ҳисобланадиган температура, °C.
Δt - температуралар фарқи, °C;
ρ - зичлик, кг/м³;
υ - солиштирма ҳажм, м³/кг;
v - ҳажм, м³;
m - масса, кг;
p - босим, Па (Н/м²), кПа, Мпа;
Δp - босимлар фарқи, Па (Н/м²), кПа, МПа;
R - газ доимийси, Ж/(кг·К);
μ - нисбий молекуляр масса;
c - солиштирма иссиқлик сиғими, кЖ/(кг·К);
c¹ - солиштирма ҳажмий иссиқлик сиғими, кЖ/(м³·К);
μc - моляр иссиқлик сиғими, кЖ/(кмоль·К);
q - солиштирма иссиқлик миқдори, Ж/кг;
Q - иссиқлик миқдори, Ж;
A - иш, Ж/кг;
u - ички энергия, Ж/ кг
Δu - ички энергиянинг ўзгариши, Ж/кг;
H - солиштирма энтальпия, Ж/кг;
Δh - энтальпиянинг ўзгариши, Ж/кг;
s - энтропия, Ж/(кг·К);
Δs - энтропиянинг ўзгариши, Ж/(кг·К);
r - буғ ҳосил қилиш иссиқлиги, кЖ/кг;
d - намлик миқдори, г/кг қуруқ ҳаво;
φ - нисбий намлик, %;
B - ёқилғи сарфи, кг/с;
b - ёқилғининг солиштирма сарфи, кг/(кВт·с);
Д - буғ унумдорлиги, кг/с;
$Q_қ$, $Q_ю$ - ёқилғининг қуйи ва юқори ёниш иссиқлиги, кЖ/кг;
ε - совитиш коэффициенти, сиқилиш даражаси;
η_t - термик Ф.И.К;
c - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/(м·К);
α - иссиқлик бериш коэффициенти, Вт/(м²·К);
k - иссиқлик узатиш коэффициенти, Вт/(м²·К);
N - қувват, кВт.

БИРИНЧИ ҚИСМ
ТЕХНИКАВИЙ ТЕРМОДИНАМИКА

БИРИНЧИ БОБ
ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

1.1. Термодинамика ва унинг услуби

Термодинамика-энергиянинг айланиш (ўзгариш) қонуниятлари ҳақидаги фандир.

Термодинамикага XIX асрда асос солинган эди. Бу даврда иссиқлик двигателларининг тараққиёти туфайли иссиқликнинг ишга айланиш қонуниятларини ўрганиш зарурияти туғилди.

Термодинамика турли физикавий ва кимёвий жараёнларнинг у ёки бу тизимларда қайси йўналишда содир бўлишини аниқлашга имкон беради.

Термодинамиканинг тузилиш принципи жуда содда. Термоди-намика асосига тажриба йўли билан аниқланган иккита асосий қонун қўйилган.

Термодинамиканинг биринчи қонуни энергия айланиш жараёнларининг миқдорий томонини тавсифлайди, иккинчи қонуни эса физикавий тизимларда содир бўладиган жараёнларнинг сифатий томонини (йўналганлигини) белгилайди. Фақат шу иккита қонундан фойдаланиб, қатъий дедукция услуби ёрдамида термодинамиканинг барча асосий хулосаларини чиқариш мумкин.

1.2. Ҳолат параметрлари

Моддалар, одатда, қуйидаги учта асосий ҳолатнинг биттасида бўлади: газ, суюқлик ва қаттиқ жисм кўринишида. Плазма деб аталувчи ионланган газни баъзан модданинг тўртинчи ҳолатидан иборат деб ҳисоблайдилар.

Битта жисмни ўзи турли шароитларда турли ҳолатларда бўлиши мумкинлиги муқаррардир. Текширилаётган жисм берилган ўзгармас шароитларда ҳар доим битта ҳолатдагина бўлади, масалан, сув атмосфера босими ва 200°С температурада фақат буғ кўринишида бўлади.

Текширилаётган модда ҳолатини аниқлаш учун модда ҳолатининг ҳолат параметрлари деб юритиладиган қулай тавсифномалари киритилади. Модданинг хоссаси интенсив ва экстенсив бўлиши мумкин. Тизимдаги модда миқдорига боғлиқ бўлмаган хоссалар интенсив хоссалар деб айтилади (босим, температура ва бошқалар).

Модда миқдорига боғлиқ бўлган хоссалар экстенсив хоссалар деб айтилади. Солиштирма, яъни модда миқдори бирлигига нисбатан олинган экстенсив хоссалар интенсив хоссалар маъносига эга бўлиб қолади. Масалан, солиштирма ҳажм, солиштирма иссиқлик сиғими ва шунга ўхшашлар интенсив хоссалар сифатида текширилади.

Термодинамикавий тизимларнинг ҳолатини белгиловчи интенсив хоссалар тизим ҳолатининг термодинамикавий параметрлари деб айтилади. Ҳолат параметрларидан энг кўп тарқалгани жисмнинг абсолют температураси, абсолют босими ва солиштирма ҳажмидир.

Температура

Энг муҳим параметрлардан бири абсолют температурадир. Температура жисмнинг иссиқлик ҳолатини тавсифлайди. Иссиқликнинг фақат кўпроқ қиздирилган жисмдан камроқ қиздирилган жисмгагина, яъни юқори температурали жисмдан паст температурали жисмга ўтиши тажрибадан жуда яхши маълум. Шундай қилиб, жисм-лар температураси бу жисмлар орасида иссиқликнинг ўз-ўзидан ўтиши мумкин бўлган йўналишини аниқлайди.

Температура, масалан, термометрлар ёрдамида ўлчанади. Температурани ўлчаш учун фойдаланиладиган ҳар қандай асбоб қатъий белгиланган температура шкаласига мувофиқ градусларга бўлинган бўлиши керак.

Ҳозир турли температура шкалалари - Цельсий, Фарангейт, Реомюр ва Ренкин шкалаларидан фойдаланилади. Бу шкалалар орасидаги нисбат 1.1- жадвалда келтирилган.

Термодинамикавий тадқиқотларда 1848 йилда буюк инглиз олими Кельвин таклиф этган шкаладан фойдаланилади. Кельвин шкаласининг ноли сифатида идеал газ молекулаларининг тартибсиз ҳаракати тўхтайдиган температура қабул қилинган: бу температура абсолют ноль дейилади. Абсолют ноль Цельсий шкаласи бўйича - 273,15°С температурага мувофиқ келади. Кельвин шкаласи бўйича ҳисобланадиган температура доимо мусбат бўлади. У абсолют темпе-ратура ёки Кельвин бўйича температура дейилади ва К билан белгиланади.

Турли температура шкалалари орасидаги нисбат

1.1 жадвал.

Шкалаларнинг номи	Цельсий шкаласи, t,°C	Ренкин шкаласи, T,°Ra	Фарангейт шкаласи, t,°φ	Реомюр шкаласи, t,°R
Цельсий шкаласи, °C	-	$\frac{5}{9}T°Ra-273{,}15$	$\frac{t°\varphi-32}{1{,}8}$	1,25t°R
Ренкин шкаласи, °Ra	1,8(t°C+ +273,15)	-	t°φ+459,67	1,8(1,25t°R + +273,15)
Фарангейт шкаласи °φ	1,8t°C+32	t°Ra−459,67	-	$\frac{9}{4}t°R$
Реомюр шкаласи, °R	0,8t°C	$0{,}8(\frac{5}{9}T°Ra-273{,}15)$	$\frac{4}{9}(t°\varphi-32)$	-

Абсолют шкала бўйича олинган температура билан Цельсий шкаласи (t°C) бўйича олинган температура орасидаги боғланиш қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$T\ K = 273{,}15 + t°C.$$

Абсолют босим

У жисм сиртига нормал бўйича таъсир этувчи ва бу сиртнинг юза бирлигига нисбатан олинган кучдан иборат. Босимни ўлчаш учун турли бирликлар: Паскаль (Па), бар, атмосфера (1 кг/см^2), сув ёки симоб устуни миллиметри ишлатилади.

Ҳажм

Модданинг солиштирма ҳажми модданинг зичлик бирлиги эгаллаган ҳажмдан иборат. Солиштирма ҳажм v жисм массаси m ва унинг ҳажми V билан қуйидаги нисбат билан боғланган.

$$v = \frac{V}{m} \qquad (1.1)$$

Модданинг солиштирма ҳажми, одатда, м3/кг ёки см3/г ҳисобида ўлчанади.

Зичлик

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v} \qquad (1.2)$$

одатда, кг/м^3 ёки г/см^3 ҳисобида ўлчанади.

Соф модданинг ҳар қандай учта ҳолат параметри (p, v ва T) ўзаро бир қиймат билан боғланган. Бу моддаларни ўзаро боғлайдиган тенглама айни модданинг ҳолат тенгламаси деб айтилади ва уни қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин.

$$F(p, v, T) = 0 \qquad (1.3)$$

Ҳолат параметрлари орасидаги боғланишни p,v ва T координаталар тизимида термодинамикавий юза кўринишида тасвирлаш мумкин.

Координаталарнинг бундай тури, одатда моддаларнинг ҳолат диаграммаси деб айтилади.

1.3. Термодинамикавий жараён

Ҳам ўзаро, ҳам атрофдаги муҳит билан таъсирлашиб турувчи материал жисмлар тўпламини термодинамикавий тизим деб атаймиз, кўриб

чиқилаётган тизим чегарасидан ташқарида бўлган бошқа барча материал жисмларни ташқи муҳит деб аташ қабул қилинган.

Агар ҳолат параметрларидан лоақал биттаси ўзгарса, у ҳолда тизимнинг ҳолати ўзгаради, яъни тизимда термодинамикавий жараён содир бўлади.

Термодианмикавий тизимда содир бўладиган барча жараёнларни мувозанатдаги ва мувозанатдагимас, қайтар ва қайтмас жараёнларга бўлиш мумкин. Мувозанатдаги жараён тизимнинг барча қисмлари бир хил температурага ва бир хил босимга эга эканлиги билан тавсифланади.

Жараённинг ўтиш жараёнида тизимнинг турли қисмлари ҳар хил температура, босим, зичлик ва ҳоказоларга эга бўлса, бундай жараён мувозанатдагимас жараён деб айтилади.

Ҳар қандай реал жараён маълум даражада мувозанатдагимас ҳолатда бўлади. Бундан кейин "жараён" деганда биз мувозанатдаги жараённи тушунамиз.

Термодинамиканинг энг муҳим тушунчаларидан бири қайтар ва қайтмас жараёнлар ҳақидаги тушунчадир. Термодинамикавий жараён термодинамикавий тизимнинг узлуксиз ўзгариб турадиган ҳолатлари тўпламидан иборатдир.

Тизимнинг ҳар қандай иккита ҳолати: 1 ва 2 оралиғида битта йўлнинг ўзидан ўтадиган иккита жараённи тасаввур этиш мумкин: ҳолат 1 дан ҳолат 2 га ва аксинча ҳолат 2 дан ҳолат 1 га; бундай жараёнлар тўғри ва тескари йўналишдаги жараёнлар деб айтилади.

Тўғри ва тескари йўналишдаги жараён натижасида термодинамикавий тизим дастлабки ҳолатига қайтадиган жараёнлар қайтар жараёнлар деб айтилади. Тўғри ва тескари йўналишларда ўтказилганда тизим дастлабки ҳолатига қайтмайдиган жараёнлар қайтмас жараёнлар деб айтилади.

Тажрибадан маълумки, ўз-ўзидан содир бўладиган барча табиий жараёнлар қайтмас бўлади; табиатда қайтар жараёнлар бўлмайди.

Тизимда ўз-ўзидан содир бўладиган ҳар қандай жараён ва бинобарин, қайтмас жараён тизимда мувозанат қарор топмагунча давом этади.

Тажриба шуни кўрсатадики, мувозанатга эришган тизим кейинчалик шундай ҳолатда қолаверади, яъни ҳолатини ўзича ўзгартира олмайди. Юқорида айтиб ўтилганлар асосида қуйидаги натижага келиш қийин эмас: тизим фақат мувозанат ҳолатига келмаганига қадаргина иш бажара олади.

1.4. Идеал газ. Идеал газ қонунлари

XVII - XIX асрларда атмосфера босимига яқин босимларда газлар ўзини қандай тутишини текширган тадқиқотчилар эмперик йўл билан бир қанча муҳим қонуниятларни очдилар.

Бойль-Мариотт қонуни: ўзгармас температурада газнинг берилган массаси учун абсолют босимнинг ҳажмга кўпайтмаси ўзгармас катталикдир.

$$pv=const \qquad (1.4).$$

Шарль қонуни: ҳажм ва масса ўзгармас бўлганда газ босими абсолют температураларнинг ўзгаришига тўғри пропорционал равишда ўзгаради.

$$\frac{p_1}{p_2}=\frac{T_1}{T_2} \qquad (1.5)$$

Бу боғланишни қуйидаги кўринишда ифодалаш мумкин:

$$p=p_0(1+\alpha\cdot t) \qquad (1.6)$$

Бу ерда p_0 - газнинг 0°С температурадаги босими, α - газнинг ҳажмий кенгайишининг температуравий коэффициенти. Босим етарлича кичик бўлганда, турли газлар бир хил ҳажмий кенгайиш температуравий коэффициентига эга бўлади. Бу коэффициент тахминан $\alpha=1/273=0{,}003661°C^{-1}$ га тенг.

Гей -Люссак қонуни: босим ва масса ўзгармас бўлганда газ ҳажми абсолют температураларнинг ўзгаришига тўғри пропорционал равишда ўзгаради:

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{T_1}{T_2} \qquad (1.7)$$

$$\text{ёки } V=V_0\,(1+\alpha\cdot t) \qquad (1.8)$$

бу ерда V_0 ва V - газнинг тегишлича 0 ва t°С температуралардаги хажми.

Бу қонунлардан фойдаланиб, идеал газнинг ҳолат тенгламасини чиқариш мумкин:

Массаси 1 кг га тенг бўлган бирор газ p_1 v_1 ва T_1 билан тавсифланадиган ҳолатдан p_2, v_2 ва T_2 билан тавсифланадиган бошқа ҳолатга ўтади деб фараз қилайлик. Бу ўзгариш дастлаб оралиқ ҳажм v_1 гача ўзгармас температура T_1 да, сўнгра эса охирги ҳажм v_2 гача ўзгармас босим p_2 содир бўлсин.

Бойль - Мариотт қонунига кўра T=const бўлганда:

$$p_1v_1=p_2v^1 \quad \text{ёки} \quad v^1=\frac{v_1\cdot p_1}{p_2}$$

Гей -Люссак қонунига кўра p=const бўлганда

$$\frac{v^1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{ёки} \quad v^1 = \frac{v_2 T_1}{T_2}$$

Топилган ифодаларни v_1 учун таққосласак, қуйидагини оламиз:

$$\frac{p_1 v_1}{p_2} = \frac{v_2 T_1}{T_2}$$

Бу тенгламани ўзгартириб шундай ёзиш мумкин:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = const \quad \text{ёки} \quad \frac{p\,v}{T} = const \qquad (1.9)$$

яъни газнинг абсолют босими билан ҳажми кўпайтмасининг абсолют температурага нисбати ўзгармайди. 1 кг газ учун бу ўзгармас катталик газ доимийси дейилади ва R ҳарфи билан белгиланади.

$$\frac{p\,v}{T} = R \quad \text{ёки} \quad p\,v = RT \qquad (1.10)$$

Бу тенглама идеал газнинг ҳолат тенгламаси дейилади. Бу тенглама кўпинча уни таклиф этган олимнинг номи билан Клапейрон тенгламаси дейилади.

Газ доимийсининг ўлчамлиги қуйидагича бўлади.

$$[R] = [\frac{p\,v}{T}] = [\frac{ж}{кг \cdot град}]$$

Бинобарин, газ доимийси R, 1 кг газнинг 1° га иситилганда бажарган кенгайиш солиштирма ишидир. m кг газ учун ҳолат тенгламаси қуйидагича:

$$pV = mRT \qquad (1.11)$$

1 моль газ учун ҳолат тенгламаси.

Газ ҳолати тенгламасининг учинчи шакли бир моль учун ёзилади. Шуни эслатиб ўтамизки, газнинг молекуляр оғирлигига сон жиҳатдан тенг бўлган килограммлар миқдори моль, бошқача айтганда килограмм-молекула дейилади ёки киломоль деб айтилади. Масалан кислород (O_2) киломоли 32 кг га, карбонат ангидрид (CO_2) киломоли 44 кг га тенг ва ҳоказо.

Авагадро қонунига кўра бир хил температура ва босимдаги турли газларнинг тенг ҳажмларида молекулалар сони бир хил бўлади.

Бу таърифга асосланиб, бир хил температура ва босимларда олинган турли газ молларининг ҳажми ўзаро тенг деб хулоса чиқариш мумкин.

Агар v-газнинг солиштирма ҳажми, μ-газнинг молекуляр массаси бўлса, у ҳолда моляр ҳажми μ·v га тенг. Идеал газлар учун:

$$\mu \cdot v = const \qquad (1.12)$$

Авагадро сони (Nм) экспериментал йўл билан аниқланган Nm= 6,022119·1026 кмоль[1].

Нормал шароитларда (p=760мм сим. уст. ва t=0°C)

$$\mu \cdot v = 22{,}4 м^3 / кмоль \qquad (1.13)$$

$$R = \frac{p \cdot v}{T} = \frac{101325}{273{,}15} \cdot v = 371 \cdot v \qquad (1.14)$$

Солиштирма ҳажм қийматини (1.13) тенгламадан олиб (1.14) тенгламага қўйганимиздан сўнг қуйидагига эга бўламиз:

$$R = \frac{8314}{\mu} \qquad (1.15)$$

$$pv = \frac{8314}{\mu} T \qquad (1.16)$$

$$p\mu v = 8314 \cdot T$$
$$\mu v = V\mu \qquad (1.17)$$

$$pV\mu = R_b T$$
$$R_b = \mu R \qquad (1.18)$$

(1.18) тенглама битта киломоль учун идеал газнинг ҳолат тенгламаси деб айтилади.

$\mu R = R_b = 8314 \frac{Ж}{кмоль \cdot K}$ – универсал газ константаси деб айтилади.

(1.18) тенглама Клапейрон - Менделеев тенгламаси дейилади.

1.5. Газлар аралашмаси

Иш жисми кўпинча бир неча газларнинг аралашмасидан иборат бўлади. Масалан, ички ёнув двигателларида таркибига водород, кислород, углерод (II) - оксид, азот, карбонат ангидрид ва сув буғлари кирадиган ёниш маҳсулотлари иш жисми ҳисобланади.

Газлар аралашмасининг барча таркибий қисмлари бир хил температура ва бир хил ҳажмга эга, деб фараз қилайлик. Агар газлар аралашмаси таркибига кирувчи ҳар қайси компонент, барча аралашма каби, идеал газнинг ҳолат тенгламасига бўйсунади деб ҳисобласак, аралашмадаги айрим компонентларнинг босимлари Дальтон қонунига бўйсунади: бу қонунга кўра газлар аралашмасининг босими айрим компонентлар парциал босимларининг йиғиндисига тенг.

$$p_{арал} = p_1 + p_2 \ldots\ldots p_n$$

$$\text{яъни } p_{арал} = \sum_{i=1}^{n} p_i \qquad (1.19)$$

бунда p_1, p_2....p_n - аралашма компонентларининг парциал босимлари.

Газлар аралашмасидаги бирор компонент аралашма температурасида бўлиб, бир ўзи шу аралашма эгаллаган ҳажмни тўлдирганда кўрсатаётган босим айни компонентнинг парциал босими дейилади. Дальтон қонуни идеал газлар учунгина тўғри келади.

Аралашма таркибини ифодалаш усуллари

✓ Газлар иш аралашмасининг таркиби шу аралашма таркибига кирувчи ҳар қайси компонентнинг миқдори билан аниқланади. Аралашманинг таркиби одатда массавий, ҳажмий ва моляр улушлар билан ифодаланади.

Агар массаси m бўлган аралашма n компонентдан таркиб топгэн бўлса, у ҳолда аралашмадаги айрим компонентларнинг массавий улушлари қуйидагига тенг бўлади:

$$q_1 = \frac{m_1}{m}; \quad q_2 = \frac{m_2}{m}; \ldots q_n = \frac{m_n}{m} \qquad (1.20)$$

бу ерда m_1, m_2....m_n - аралашмани ҳосил қилувчи айрим компонентларнинг массалари.

Маълумки, газлар аралашмасидаги айрим компонентлар массаларининг йиғиндиси барча аралашманинг массасига тенг бўлади:

$$m_1+m_2+\ldots+m_n=m \qquad (1.21)$$

Бу тенглик газлар аралашмаси массавий таркибининг тенгламаси дейилади. (1.20) ва (1.21) тенгламалардан кўриниб турибдики, газлар аралашмасидаги айрим компонентлар массавий улушларининг йиғиндиси 1 га тенг.

$$q_1+q_2+\ldots q_n=1 \qquad (1.22)$$

Агар n компонентдан таркиб топган аралашманинг ҳажми V бўлса, у ҳолда аралашмадаги компонентларнинг ҳажмий улушлари қуйидаги тенгламалар билан аниқланади:

$$r_1 = \frac{V_1}{V}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V}; \quad r_n = \frac{V_n}{V} \qquad (1.23)$$

бу ерда; V_1, V_2....V_n - аралашма таркибига кирувчи компонентларнинг парциал ҳажмлари. Аралашма таркибига кирувчи компонентнинг шу аралашманинг температурасидаги ва босимидаги ҳажми унинг парциал ҳажми дейилади. Аралашма ҳажмий таркибининг тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади.

$$V_1+V_2+V_3+.....V_n=V \qquad (1.24)$$

Газлар аралашмасидаги компонентлар ҳажмий улушларининг йиғиндиси бирга тенг:

$$r_1+r_2+r_3+....+r_n=1 \qquad (1.25)$$

Баъзи ҳолларда аралашма таркибини моль улушлари воситасида аниқлаш қулай бўлади. Компонентнинг аралашмадаги моль улуши деб, кўриб чиқилаётган компонентнинг моллари миқдорининг аралашма молларининг миқдорига бўлган нисбатига айтилади.

Аралашма биринчи компонентнинг n_1 молларидан, иккинчи компонентнинг n_2 молларидан ва ҳоказолардан таркиб топган бўлсин.

Аралашма молларининг сони

$$n=n_1+n_2+....+n_n \qquad (1.26)$$

ва компонентларнинг моль улушлари қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$x_1=n_1/n; \quad x_2=n_2/n;....x_n=n_n/n, \qquad (1.27)$$

бундан $x_1+x_2+.....xn=1$ ёки

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \qquad (1.28)$$

Массавий ва ҳажмий улушлар орасидаги қуйидагидек боғланишлар мавжуд.

$$g_i = \frac{m_i}{m} = \frac{\rho_i V_i}{\rho V} = \frac{r_i \rho_i}{\rho} = \frac{r_i v}{v_i} \qquad (1.29)$$

Авагадро қонунига асосан ва $mR = m_i R_i = 8314 \frac{Ж}{кмоль \cdot K}$

$$q_i = r_i m_i / m = r_i R / R_i \qquad (1.30)$$

$$r_i = q_i m / m_i = q_i \cdot R_i / R \qquad (1.31)$$

Аралашманинг зичлиги:

$$\rho = \sum r_i \rho_i \qquad (1.32)$$

Аралашманинг солиштирма ҳажми:

$$v = 1 / \sum (r_i / \rho_i) \qquad (1.33)$$

Газ доимийси:

$$R = 1 / \sum (r_i / R_i) \qquad (1.34)$$

Туюлма молекуляр масса:

$$R = 8314 / \sum r_i M_i \qquad (1.35)$$

1.6. Иссиқлик сиғими

Жисмни бир градусга иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори жисмнинг иссиқлик сиғими деб айтилади.

Турли хил моддаларни бир хил температурагача иситиш учун уларнинг ҳар бирига турлича миқдордаги иссиқлик энергиясини уза-тиш зарур бўлади. Бу ҳол модданинг агрегат ҳолатига ва тузилишига боғлиқ.

Бу таърифдан модданинг иссиқлик сиғими жисмнинг экстен-сив хоссаси эканлиги келиб чиқади. Ҳақиқатан ҳам, айни жисм тар-кибидаги модда-лар қанчалик кўп бўлса, шу жисм иссиқлик сиғими-нинг катталиги ҳам шунчалик катта бўлади.

Модда миқдори бирлигининг иссиқлик сиғими солиштирма ис-сиқлик сиғими деб айтилади.

Солиштирма иссиқлик сиғими модданингт интенсив хоссаси-дир, яъни унинг катталиги модданинг тизимдаги миқдорига боғлиқ бўлмайди.

Биз бундан буён фақат солиштирма иссиқлик сиғими билан иш олиб боришимиз туфайли солиштирма иссиқлик сиғимини содда-гина қилиб иссиқлик сиғими деб атаймиз.

Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғими

Иссиқлик сиғимини с символи билан белгилаймиз. Иссиқлик сиғимининг келтирилган таърифидан

$$c = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1} \qquad (1.36)$$

эканлиги келиб чиқади.

Бу ерда t_1 - бошланғич температура;

t_2 - охирги температура;

q_1-2 - t_1 температурадан t_2 температурагача иситиш жараёни-да модда миқдори бирлигига келтирилган иссиқлик.

Иссиқлик сиғими ўзгармас катталик эмас. Температура ўзга-риши билан у ўзгаради, шунинг учун ҳам (1.36) нисбат ёрдамида аниқланади-ган иссиқлик сиғими ҳақиқий иссиқлик сиғими деб айтила-диган иссиқ-лик сиғимидан фарқли ўлароқ t_1-t_2 температуралар ин-тервалидаги ўртача иссиқлик сиғими деб айтилади.

Ҳақиқий иссиқлик сиғими, жисмга уни иситиш жараёнида келтири-ладиган иссиқлик миқдоридан шу жисмнинг температураси бўйича ҳоси-ла олиб аниқланади:

$$c = \frac{dq}{dt} \qquad (1.37)$$

бундан

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c\,dt \qquad (1.38)$$

Массавий, моляр ва ҳажмий иссиқлик сиғими

Термодинамикада иссиқлик сиғими массавий, моляр ва ҳаж-мий иссиқлик сиғимларига ажратилади. Модданинг массаси бирлиги-нинг температурасини 1°С га ўзгартириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори массавий иссиқлик сиғими деб айтилади:

$$c = \frac{1}{m}\cdot\frac{\Delta q}{\Delta T}\cdot[\frac{Ж}{кг\cdot град}] \qquad (1.39)$$

Модданинг ҳажм бирлигига келтирилган иссиқлик сиғими ҳажмий иссиқлик сиғими деб айтилади:

$$c' = \frac{1}{V}\cdot\frac{\Delta q}{\Delta T}[\frac{Ж}{м^3\cdot град}] \qquad (1.40)$$

Модданинг битта моли (ёки киломоли) га келтирилган иссиқ-лик сиғими моляр иссиқлик сиғими деб айтилади:

$$\mu c = \frac{\mu}{m}\cdot\frac{\Delta q}{\Delta T}[\frac{Ж}{кмоль\cdot град}] \qquad (1.41)$$

Юқоридаги катталиклар ўртасида қуйидагидек боғлиқлик мавжуд:

$$c=\mu c/\mu; \qquad (1.42)$$

$$c_t=\mu c/22,4 \qquad (1.43)$$

ва

$$c'= c\rho \qquad (1.44)$$

Иссиқлик сиғимининг жараёнга боғлиқлиги

Иссиқлик келтириш жараённинг тавсифига қараб жисмнинг температурасини 1°С га кўтариш учун шу жисмга келтириш зарур бўлган иссиқлик миқдори турлича бўлади. Шунинг учун ҳам биз иссиқлик сиғими тўғрисида гапирар эканмиз, айни моддага иссиқлик қандай жараён воситасида келтириш ҳақида айтиб ўтишимиз лозим.

Бошқача қилиб айтганда, (1.37) нисбатдаги q катталик фақат температуралар интервалига эмас, балки иссиқлик келтириш жараёнининг турига ҳам боғлиқ. Амалда изобарик (p=const) ва изохорик (v=const) жараёнларнинг иссиқлик сиғимларидан энг кўп фойдаланилади. Бу иссиқлик сиғимлари изобарик ва изохорик иссиқлик сиғимлари деб аталиб, тегишлича ср ва сv орқали белгиланади.

Шу билан биргаликда c_v - массавий изохорик иссиқлик сиғими; c^1_v - ҳажмий изохорик иссиқлик сиғими; μc_v - моляр изохорик иссиқлик сиғими; c_p - массавий изобарик иссиқлик сиғими; c^1_p- ҳажмий изобарик иссиқлик сиғими ва μc_p - моляр изобарик иссиқлик сиғимлари бир-биридан фарқланади.

Газ ўзгармас босим ёки ўзгармас ҳажмда туришига қараб, унинг температурасини 1° га иситиш учун турли миқдордаги иссиқлик зарур.

Изобарик иссиқлик сиғими изохорик иссиқлик сиғимидан ҳар доим катта бўлади, чунки 1 кг газни 1° га p=const шароитида иситилганда, энергияни бир қисми кенгайиш учун сарфланади.

Р. Майер c_p ва c_v орасидаги боғлиқликни ўрганиб, қуйидаги тенгламани келтириб чиқарди:

$$c_p-c_v=R \qquad (1.45)$$

Юқоридаги тенгламани иккала қисмини молекуляр масса (m) га кўпайтирсак қуйидаги натижани оламиз:

$$\mu c_p -\mu c_v=R_\mu=8314 \text{ Ж/(кмоль·К)} \qquad (1.46)$$

ёки

$$\mu c_p -\mu c_v=8314 \text{ Ж/(кмоль·К)} \qquad (1.47)$$

Демак, барча газлар учун моляр изобар ва изохор иссиқлик сиғимла-

ри орасидаги айирма ўзгармас катталик бўлиб, унинг қиймати 8314 Ж/(кмоль·К) ёки 2 ккал/(кмоль·К) га тенг.

Реал газлар учун c_p-c_v=R, чунки p=const бўлган изобарик жараёнда тизим фақат ташқи кучларга қарши иш бажарибгина қолмасдан, молекулалар аро мавжуд бўлган ўзаро тортишиш кучларига қарши ҳам иш бажаради. Демак, p=const ва v=const бўлган термодинамик жараёнларда реал газ иш бажариши ва унинг ички энергиясини орттириш учун идеал газга нисбатан унга кўпроқ иссиқлик миқдори сарфланар экан.

Статистик физика усулларидан фойдаланиб, кўпчилик моддаларнинг иссиқлик сиғимларини назарий усул билан ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун молекуланинг битта эркинлик даржасига тўғри келадиган к Т энергиясидан фойдаланилади ва бир, икки ва кўп атомли газнинг бир моль миқдорига мос келувчи иссиқлик сиғимлари топилади.

1.2-жадвалда идеал газларнинг иссиқлик сиғимлари келтирилган.

Термодинамикада ўзгармас босим ва ҳажмдаги иссиқлик сиғимлари ўртасидаги нисбатдан кенг фойдаланилади. Бу нисбат к ҳарфи билан белгиланади.

$$\kappa = c_p / c_v = c'_p / c'_v = \mu c_p / \mu c_v \qquad (1.48)$$

Майер тенгламасидан:

$$c_v = R/(к-1); \; c_p = кR/(к-1) \qquad (1.49)$$

Агар c=const деб ҳисобласак 1.2-жадвалдан бир атомли газлар учун к=1,67; икки атомли газлар учун к=1,4; уч ва кўп атомли газлар учун к=1,29 га тенг бўлади.

1 кг идеал газни t_1 температурадан t_2 температурагача иситиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$q = (c_m)_{t_1}^{t_2}(t_2 - t_1) = c_{m_2} \cdot t_2 - c_{m_1} \cdot t_1 \qquad (1.50)$$

Идеал газларнинг иссиқлик сиғимлари

1.2 жадвал

Газлар	μcv	μcp	μcv	μcp
	кЖ/(кмоль·град)		ккал/(кмоль·град)	
Бир атомли	12,56	20,93	3	5
Икки атомли	20,93	29,31	5	7
Уч ва кўп атомли	29,31	37,68	7	9

1-50-формуладан c_p ва c_v жараёнлар учун қуйидаги ифодани келтириб чиқариш мумкин:

$$q_v = c_{vm2} \cdot t_2 - c_{vm1} \cdot t_1 \qquad (1.51)$$

ва

$$q_p = c_{pm2} \cdot t_2 - c_{pm1} \cdot t_1 \qquad (1.52)$$

Газлар аралашмасининг иссиқлик сиғими қуйидаги формулалар асосида аниқланади:

Аралашманинг массавий иссиқлик сиғими:

$$c_{ap} = \sum_{1}^{n} m_i \cdot c_i \qquad (1.53)$$

Аралашманинг ҳажмий иссиқлик сиғими:

$$c'_{ap} = \sum_{1}^{n} r_i \cdot c'_i \qquad (1.54)$$

Аралашманинг моляр иссиқлик сиғими:

$$\mu c_{ap} = \sum_{1}^{n} r_i \cdot \mu c \qquad (1.55)$$

1.7. Реал газлар

Олдин Клапейрон тенгламасига бўйсунадиган идеал газлар кўриб чиқилган эди. Реал моддаларнинг газсимон ва суюқ фазалардаги ҳолат диаграммалари идеал газнинг ҳолат диаграммаларидан кескин фарқ қилади.

Бунга сабаб шуки, реал ва идеал газларнинг физикавий табиатлари турлича бўлади. Идеал газларда молекулалар ўзаро таъсирлашмайди ва ўз ҳажмига эга бўлмайди деб ҳисобланса, реал моддаларда эса, молекулалар ўз ҳажмига эга бўлиб ўзаро таъсирлашади ва бунинг натижасида реал газнинг ҳолат тенгламаси Клапейрон тенгламасидан фарқ қилади.

Бу соҳада маълум бўлган биринчи ҳаракатлардан бири Голландия физиги Я. Ван-дер-Ваальс томонидан 1873 йилда реал газнинг ҳолат тенгламасини ишлаб чиқиш бўлган. Асосан фикр юритиб ҳосил қилинган хулосалар асосида чиқарилган Ван-дер-Ваальс тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - в) = RT \qquad (1.56)$$

бу ерда а ва в -газ константаси бўлиш билан бир қаторда модданинг индивидуал хоссаларининг тавсифловчи константалар.

Ван-дер-Ваальс тенгламаси Клапейрон тенгламасидан, биринчидан, р катталик ўрнига р ларнинг йиғиндиси ва a/v^2 катталик бўлиш билан; иккинчидан бу тенгламада солиштирма ҳажм ўрнига (v-в) айирма билан фарқ қилади.

Клапейрон тенгламасига мувофиқ p →∞ да идеал газнинг солиштирма ҳажми нолга интилади.

Ван-дер-Ваальс тенгламасидан p →∞ да v →в эканлиги келиб чиқади. Бинобарин, в катталикни молекулаларнинг ўзи эгаллаган ҳажм каби изоҳлаш мумкин. Бу катталик ташқи босимга боғлиқ бўлмаган константадан иборат, солиштирма ҳажмнинг ўзгарувчи қисми эса (v-в) га тенг.

Катталик, a/v^2 га келсак, Ван-дер-Ваальс мулоҳазалар асосида молекулалар орасида таъсир этадиган тортиш кучлари солиштирма ҳажм v катталиги квадратига тескари пропорционал эканлигини кўрсатди; бинобарин a/v^2 ҳад газ молекулаларининг ўзаро таъсир этишини ҳисобга олади. Шундай қилиб, Ван-Дер-Ваальс тенгламаси газнинг реал хоссаларини -газларда молекулаларнинг ўзаро таъсир этиш ва молекулаларнинг ўз ҳажми борлигини ҳисобга олади.

Реал газ ҳолатининг етарлича кенг соҳаси учун тўғри бўлган, назарий жиҳатдан асосланган ҳолат тенгламасини чиқариш бўйича қилинган жуда кўп ҳаракатлар маълум. Бу йўналишда 1937-1946 йилларда америкалик физик Ж. Майер ва рус математиги Н.Н. Боголюбов ўз ишларида жуда олға кетдилар.

)Майер ва Боголюбов статистикавий физика услублари ёрдамида реал газ тенгламаси энг умумий кўринишда қуйидагича бўлишини кўрсатдилар:

$$pv = kT\left(I - \sum_{k=1}^{\infty}\frac{k}{k+1}\frac{\beta_k}{v^k}\right) \qquad (1.57)$$

бу ерда $\beta_к$ - фақат температура функцияси бўлган коэффициентлар (вириал коэффициентлар).

Майер-Боголюбов - тенгламасининг ўнг қисмидаги қавс ичидаги ифода 1/ v даражалари бўйича қатордан иборат. Газнинг солиштирма ҳажми v нинг катталиги қанчалик катта бўлса, етарли даражада аниқ натижа олиш учун қатор ҳадларидан шунчалик кам сонни ҳисобга олиш кераклиги кўриниб турибди. (1-57) тенгламадан v → ∞ да даражали қаторнинг барча ҳадлари нолга айланади ва бунда тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлиши келиб чиқади:

$$pv = RT$$

яъни, худди кутилганидек, зичлиги кам соҳа учун Майер-Боголюбов тенгламаси Клапейрон тенгламасига айланади.

Назорат учун саволлар

1. Фаннинг мақсади ва вазифаси нимадан иборат?
2. Ишчи жисмнинг параметрларини айтиб беринг?
3. Термодинамик мувозанат нима?
4. Идеал газ қонунларини таърифлаб беринг?
5. Менделеев - Клайперон тенгламаси.
6. Универсал газ доимийсининг моҳияти нимадан иборат?
7. Дальтон қонунини таърифланг.
8. Парциал босим нима?
9. Аралашманинг газ доимийси қандай аниқланади?
10. Реал газларнинг идеал газлардан фарқи нимада?
11. Ван - дер - Ваальс тенгламаси.
12. Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғими.
13. Иссиқлик сиғими температурага қандай боғланган?
14. Майер тенгламаси.

ИККИНЧИ БОБ
ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ

2.1. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни.

Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни табиатнинг умумий тавсифга эга бўлган фундаментал қонунидир. Бу қонун қуйидагича таърифланади: энергия йўқ бўлмайди ва қайтадан пайдо бўлмайди, у фақат турли физикавий ҳамда кимёвий жараёнларда бир турдан бошқа турга ўтади. Бошқача қилиб айтганда, изоляцияланган ҳар қандай тизимда шу тизим ичида энергия ўзгармасдан сақланиб туради.

Энергиянинг сақланиш қонуни механикада кўпдан бери механикавий (кинетик ва потенциал) энергияга татбиқан маълум бўлган. М.В. Ломоносов (1745-1748, Россия), Д. Жоуль (1842-1850, Англия), Р Майер (1842-1845, Германия), Г. Гесс (1840, Россия), Э. Ленц (1844, Россия), Г. Гельмгольц (1847, Германия) ва бошқа олимларнинг ишлари билан иссиқлик ва ишнинг эквивалентлик принципи аниқлан-гандан кейин сақланиш, қонуни энергиянинг бошқа турларига ҳам тадбиқ қилина бошланди ва унинг мазмунига мувофиқ энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни деб атала бошланди.

Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни термодинамика-нинг биринчи қонуни деб ҳам айтилади.

2.2. Ички энергия.

Техникавий термодинамиканинг вазифаларидан келиб чиқиб, модда микроструктураси нуқтаи назаридан модданинг ички энергияси нималардан иборат деган масалани кўриб чиқишнинг зарурияти йўқ. Ҳозирги замон физикавий дунёқарашларга кўра модданинг ички энергиясини шу модда молекулаларининг (атомлар, ионлар, электронларнинг) кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндисидан иборат деб тасаввур этишимиз мумкин. Ички энергия тушунчасини фанга 1850 йили В. Томсон киритган.

Модданинг ички энергияси қуйидагига тенг:

$$U=U_{кин}+U_{пот}+U_o, \tag{2.1}$$

бу ерда $U_{кин}$ - молекулаларнинг ички кинетик энергияси; $U_{пот}$ - молекулаларнинг ички потенциал энергияси; U_o - ноль энергия ёки абсолют ноль температурадаги ички энергия.

Маълумки Т=0 да атом ва молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати тўхтайди, лекин атомлар ичидаги зарраларнинг ҳаракати давом этади. Ички энергиянинг абсолют қиймати кимёвий термодинамикада, кимёвий

реакцияларни ҳисоблашда муҳим роль ўйнайди. Термодинамиканинг кўпчилик техникавий тадбиқларида ички энергия U нинг абсолют қиймати эмас, балки бу катталикнинг турли термодинамикавий жараёнларда ўзгаришини муҳимдир. Бундан шу нарса келиб чиқадики, ички энергия ҳисобини юритишнинг ихтиёрий танлаш мумкин. Масалан, идеал газлар учун t_0=0°C температурада ички энергия нолга тенг деб қабул қилинган.

Айтиб ўтилганлардан шу нарса келиб чиқадики, жисм ички энергиясининг бирор жараёнда ўзгариши жараённинг тавсифига боғлиқ эмас ва охирги ҳолати билан бир қийматда аниқланади.

$$\Delta U_{1\text{-}2} = U_2 - U_1 \qquad (2.2)$$

$$\Delta U = \int_1^2 dU = U_2 - U_1 \qquad (2.3)$$

Ички энергия экстенсив хосса, яни U катталик тизимдаги масса миқдори m га пропорционалдир. Солиштирма ички энергия деб айтиладиган

$$u = \frac{U}{m} \qquad (2.4)$$

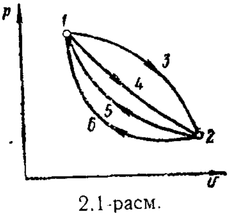
катталик модда массаси бирлигининг ички энергиясидан иборат.

Қисқа бўлиш учун, бундан кейин u катталикни солиштирма ички энергияни -оддийгина ички энергия деб, U катталикни эса бутун тизимнинг тўла ички энергияси деб атаймиз.

Юқорида келтирилган фикрлардан модданинг ички энергиясини қуйидагича таърифлаш мумкин:

ички энергия бевосита модда ҳолатининг функциясидир:

$$u=f\,(p,v);\; u=f\,(p,T);\; u=f\,(u,T) \qquad (2.5$$



2.1-расм.

2.1-расмдаги барча жараёнларда

$$(3)\int_1^2 du = (4)\int_1^2 du - (5)\int_2^1 du = -(6)\int_2^1 du$$

ички энегия ўзгариши бир хил бўлади. Тизимда ке чаётган термодинамик жараён айланма бўлса, уни тўла ички энергиясининг ўзгариши нолга тенг, яъи

$$u_2 - u_1 = \oint du = 0 \qquad (2.6$$

Тизим ички энергиясини ўзгаришини солиштирма ҳажм ва температура функцияси кўринишида ёзиш мумкин:

$$\left.\begin{aligned} du &= (\partial u/\partial T)_v T + (\partial u/\partial v)_T dv, \\ du &= (\partial u/\partial T)_p dT + (\partial u/\partial p)_T dp, \\ du &= (\partial u/\partial p)_v dp + (du/dv)_p dv \end{aligned}\right\} \qquad (2.7)$$

Идеал газ молекулалари орасида ўзаро таъсирлашиш кучлари мавжуд эмаслиги хисобга олинса, унда газнинг ички энергияси идеал газ ҳажмига ва босимига боғлиқ бўлмайди, яъни

$$(\partial u/dv)_T = 0 \text{ ва } (\partial u/\partial p)_T = 0 \qquad (2.8)$$

Демак, идеал газнинг ички энёргияси фақат абсолют температурага боғлиқ бўлар экан. У ҳолда, идеал газнинг ички энергияси температура бўйича олинган тўла ҳосилага тенг бўлади.

$$(\partial u/\partial T)_P = (\partial u/\partial T)_U = du/dT \qquad (2.9)$$

Жоуль қонуни деб аталувчи бу хулоса жуда муҳим. У идеал газнинг янги, унинг олдин аниқланган хоссаларидан келиб чиқмайдиган хоссасини очиб беради. Идеал газ учун (2.8) ни ҳисобга олиб (2.7) тенгламадан қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$d_u = c_v dt \qquad (2.10)$$

Яъни идеал газнинг ички энергияси фақат температурагагина боғлиқ.

Агар реал газга келсак, унинг ички энергияси ҳам температурага ҳамда ҳажмга боғлиқ бўлади, шнобарин, реал газ учун

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T \neq 0 \qquad (2.11)$$

2.3. Газнинг кенгайишида бажарилган иш

Иссиқлик -термодинамиканинг энг муҳим тушунчаларидан биридир. Иссиқлик тушунчаси моҳиятан иш тушунчасига яқин. Иссиқлик ҳам, иш ҳам энергия узатиш формаларидандир. Шунинг учун ҳам жисмнинг бирор иссиқлик ёки иш захираси бор деб аташнинг ҳеч қандай маъноси йўқ.

Фақат жисмга маълум миқдорда иссиқлик ёки иш берилган (ёхуд жисмдан олинган) деб таъкидлаш мумкин.

Газнинг кенгайишида бажарган иши унинг ҳолат параметрлари p, v ва T ларга боғлиқдир.

Газнинг кенгайишида бажарган ишини тенгламасини келтириб чиқариш учун, термодинамик жараён мувозанатда ҳамда босим ўзгармас деб қабул қиламиз.

Айтайлик, цилиндр поршени остида 1 кг газ турсин. Унинг босими р атроф муҳит босими рм га тенг, солиштирма ҳажми v_1 ва поршен юзаси F бўлсин (2.2 расм).

Газга элементар dq иссиқлик миқдори узатилса, газ ўзгармас босимда кенгайиб поршенни бирор dS масофага силжитади ҳамда ташқи кучларга қарши элементар иш бажаради:

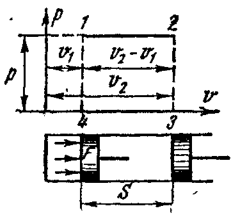
$$dA=pFdS=pdv \qquad (2.12)$$

Газнинг v_1 ҳажмдан v_2 гача кенгайишида бажарилган тўла ишни (2.3 -расм) қуйидагича ифодалаш мумкин.

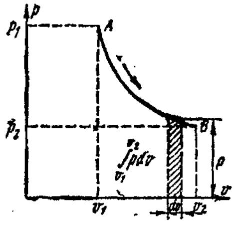
$$A=\int_{v_1}^{v_2} pdv=p(v_2-v_1) \qquad (2.13)$$

Юқоридаги ифодадан кўриниб турибдики, ёпиқ термодинамик тизимда газнинг кенгайиши ҳисобига бажарилган иш босим билан ҳажм ўзгаришининг кўпайтмасига тенг.

Термодинамик тизимнинг бажарган иши мусбат ёки манфий ишорали бўлиши мумкин. Масалан, газ ташқи кучлар таъсиридан сиқилса, яъни поршен чап томонга қараб ҳаракатланса, унда бажарилган иш манфий (dA<0), аксинча кенгайган газ поршенни ўнг томонга қараб ҳаракатлантирса, унда тизим (газ) нинг бажарган иши мусбат (dA>0) ишорали бўлади.



2.2-расм.



2.3-расм

Ташқи босим кучларига қарши бажариладиган, тизим ҳажмининг ўзгаришига боғлиқ бўлган иш A_1 кенгайиш иши деб юритилади. Кенгайиш ишини тизим атрофдаги муҳит устида бажаради.

Шуни қайд қилиб ўтиш лозимки, ташқи босим кучларига қарши

кенгайиш иши жисм ҳажми v ўзгаргандагина (ва ташқи босим нолга тенг бўлмаганида) бажарилади.

Бундан кейин биз асосан мувозанатдаги жараёнларни кўриб чиқамиз, улар учун $p=p_м$ тенглик тўғридир. Тизим кенгайиш ишининг (2.13) тенглама билан аниқланадиган катталигини pv -диаграмма ёрдамида ҳисоблаш қулай. Тизим ҳажми ўзгариш жараёнининг шу диаграммада тасвирланишини кўриб чиқамиз (2.3-расм).

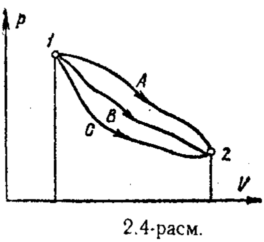
Тизим ҳажми v_1 дан v_2 гача ўзгаради. Ҳажм ўзгарадиган жараёнда тизим ўтадиган ҳолатлар нуқта А ва В лар орасидаги жараён эгри чизиғида жойлашади. Тизимнинг кенгайиш иши pv-диаграммада жараён эгри чизиғи остидаги юза билан тасвирланиши (2.13) тенгламадан кўриниб турибди.

Тизим v_1 ҳажмга эга бўлган ҳолатдан v ҳолатгача кенгайганда тизим бажарадиган ишнинг катталиги бу ҳолатларнинг параметрлари-гагина эмас, балки, кенгайиш жараёнининг қандай йўл билан амалга оширилаётганлигига ҳам боғлиқ. Ҳақиқатан ҳам (2.4)-расмда тасвир-ланган pv - диаграммадан кўриниб турибдики, кенгайиш жараёни қайси йўлдан (А, В, ёки С дан) боришига қараб интегралнинг катталиги турлича бўлади.

$$A = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

Шундай қилиб кенгайиш иши жараённинг функциясидир.

2.4. Термодинамика биринчи қонунининг тенгламаси



2.4-расм.

Термодинамиканинг I-қонуни масса ва энергия сақланиш ва айланиш қонунининг иссиқлик ҳодисаларига қўлланишининг хусусий ҳолидир. Чунки, энергия бордан йўқ бўлмайди, йўқдан бор бўлмайди, фақат бир турдан иккинчи турга айланади.

Ҳар қандай термодинамик тизимнинг параметрлари шу тизимга ташқаридан маълум миқдордаги Δq иссиқлик миқдори киритилганда (ёки чиқарилганда) ўзгаради. Тизим мувозанат ҳолатидан чиқади ёки мувозанат ҳолатига қайтади.

Демак, энергиянинг сақланиш қонуни асосида термодинамиканинг I-қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин:

тизимга узатилган иссиқлик миқдори шу тизим ички энергиясининг ўзгаришига ва ташқи кучларга қарши бажарилган фойдали ишга сарфланади. Айтиб ўтилганларни қуйидаги тенглама ёрдамида ифодалаш мумкин:

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} \qquad (2.14)$$

Дифференциал формада ёзилган шу муносабатнинг ўзи қуйи-даги кўринишда бўлади:

$$dQ = dU + dA \qquad (2.15)$$

ёки

$$dq = du + pdv \qquad (2.16)$$

Бундан кейин тизимга бериладиган иссиқликни мусбат (+), тизимдан олиб кетиладиган иссиқликни (-) манфий деб ҳисоблашни шартлашиб оламиз. Тегишлича тизим бажарадиган ишни мусбат, тизим устида бажариладиган ишни манфий деб шартлашиб оламиз. Белгилар тизимини танлаш мутлоқ ихтиёрийдир: албатта, худди шу йўсинда белгиларнинг тескари тизимини танлаш ҳам мумкин. Бунда фақат кейинги барча термодинамикавий ҳисоблашларда бир хилликка риоя қилишгина муҳимдир. (2.10), (2.12) термодинамика биринчи қонунининг тенгламаларини ва (2.15), (2.16) тенгламаларни эътиборга олиб қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$dQ = [c_v dT + pdv] \cdot m \qquad (2.17)$$

$$dq = c_v dT + pdv \qquad (2.18)$$

2.5. Энтальпия

Энтальпия (юнонча - enthalpia - иситаман) тизимнинг ҳолат функцияси бўлиб, у H ёки h ҳарфи билан белгиланади.

Тизим ички энергиясининг йиғиндиси U билан, тизимнинг босими p нинг тизим ҳажмининг катталиги V га кўпайтмаси йиғиндисининг катталиги турли-туман термодинамикавий ҳисоблашларда муҳим роль ўйнайди; бу катталик энтальпия деб айтилади.

$$H=U+pV. \qquad (2.19)$$

Энтальпия ҳам ички энергияга ўхшаб экстентив хосса эканлиги тушунарлидир:

$$h = \frac{H}{m} \qquad (2.20)$$

$$h = u + pv \qquad (2.21)$$

Энтальпия ҳам иссиқлик, иш ва ички энергия ўлчанадиган бирликларда ўлчанади.

Энтальпия ҳолат функциялари (u, p,v) катталикларининг комбинацияларидан иборат бўлганлигидан, бинобарин энтальпия ҳам ҳолат функцияси бўлади.

Термодинамиканинг биринчи қонуни тенгламаси (2.16) ни эътиборга олиб (2.21) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$dq = du + pdv = du + d(pv) - vdp = d(u + pv) - vdp$$

У ҳолда

$$dq = dh - vdp \qquad (2.22)$$

ёки

$$q_{1-2} = h_2 - h_1 - \int_{p_1}^{p_2} vdp \qquad (2.23)$$

Бу тенгламадан шу нарса келиб чиқадики, агар тизимнинг босими ўзгармасдан сақланса, яъни изобарик жараён (dp=0) амалга оширилаётган бўлса, у ҳолда

$$dq_p = dh, \qquad (2.24)$$

яъни тизимга изобарик жараёнда келтирилган иссиқлик фақат тизим энтальпиясининг ўзгаришигагина сарфланади.

Бундан изобарик иссиқлик сиғими қуйидагига тенг:

$$c_p = \frac{dq_p}{dT} \qquad (2.25)$$

Бу муносабатлардан шу нарса келиб чиқадики, идеал газнинг энтальпияси идеал газнинг ички энергиясига ўхшаш, фақат температурагагина боғлиқ.

$$d_h = c_p d_t \qquad (2.26)$$

Термодинамикада ички энергия, энтальпия, иссиқлик сиғими модданинг калорик хоссалари деб, солиштирма ҳажм, босим ва температура эса, модданинг термик хоссалари деб айтилади.

Турли хил буғлар, газлар ва газлар аралашмасининг энтальпиялари техник адабиётларда берилган. Бу маълумотлардан фойдаланиб ўзгармас

босимли жараёнда иштирок этаётган иссиқлик миқдорини аниқлаш мумкин. Айниқса, иссиқлик ва совитиш машиналарининг иссиқлик ҳисобида энтальпияни қўллаш, бу ҳисоблашларни соддалаштириб, график усулларни қўллаш имкониятини яратади.

2.6. Қайтар ва қайтмас жараёнлар

Термодинамиканинг энг муҳим тушунчаларидан бири қайтар ва қайтмас жараёнлар ҳақидаги тушунчадир. Термодинамикавий жараён термодинамикавий тизимнинг узлуксиз ўзгариб турадиган ҳолатлари тўпламидан иборат. Тизимнинг ҳар қандай иккита ҳолати 1 ва 2 оралиғида битта йўлнинг ўзидан ўтадиган иккита жараённи тасаввур этиш мумкин: ҳолат 1 дан ҳолат 2 га ва аксинча, ҳолат 2 дан ҳолат 1 га; бундай жараёнлар тўғри ва тескари жараёнлар деб айтилади.

Тўғри ва тескари йўналишлардаги жараён натижасида термодинамикавий тизим дастлабки ҳолатига қайтадиган жараёнлар қайтар жараёнлар деб айтилади; бунинг натижасида атроф муҳитда ҳеч қандай ўзгариш бўлмайди.

Тўғри ва тескари йўналишларда жараён ўтказилганда тизим дастлабки ҳолатига қайтмайдиган жараёнлар қайтмас жараён деб айтилади.

Амалиётдан маълумки, биринчидан ўз-ўзидан содир бўладиган барча табиий жараёнлар қайтмас бўлади; табиатда қайтар жараёнлар бўлмайди; иккинчидан, мувозанатга эришган тизим кейинчалик шундай ҳолатда қолаверади, яъни ҳолатини ўзича ўзгартира олмайди, бу эса ўз-ўзидан содир бўладиган ҳар қандай жараён қайтмаслиги тўғрисидаги бундан олдин таърифланган даъвога мос келади.

Юқорида айтиб ўтилганлар асосида қуйидаги натижага келиш қийин эмас: тизим фақат мувозанат ҳолатига келмаганига қадаргина иш бажара олади. Ҳақиқатан ҳам, ҳар қандай иссиқлик двигателида камида иккита иссиқлик манбаи - иссиқ ва совуқ манбалар бўлгандагина иш олиш мумкин.

Агар иссиқ ва совуқ манбалар температуралари тенглашса, яъни иссиқ манба, иш жисми ва совуқ манбадан иборат тизим иссиқлик мувозанатига келса, у ҳолда иссиқлик кўчиши тўхтайди ва иш бажарилмайди.

2.7. Мувозанатли ва мувозанатсиз жараёнлар.

Термодинамик тизимга кирган жисмларнинг ҳолати узоқ вақт ўзгармаса, у ҳолда тизим термодинамик мувозанатда бўлади. Агар термодинамик тизимда жисмлар бир хил ҳолатда бўлмаса ва улар бир-бири билан иссиқлик изоляцион ва абсолют қаттиқ тўсиқлар билан ажратилган бўлмаса, бу тизимда бирор муддат вақт ўтиши билан (эртами-кечми) турғун термодинамик мувозанат ҳосил бўлади.

Термодинамик мувозанатда тизим таркибидаги жисмлар ўзаро иссиқлик алмашмайди ва бир-бирига нисбатан ҳаракатда бўлмайди, яъни иссиқлик ва механик мувозанат содир бўлади.

Термодинамик мувозанатда тизимни ташкил қилган барча жисмлар босими ва температураси атроф-муҳит босими ва температурасига тенг бўлади. Ташқи муҳит ўзгариши билан термодинамик тизимнинг ҳолати ўзгарада яъни у мувозанатли ҳолатдан мувозанатсиз ҳолатга ўтади. Бу ўзгариш атроф-муҳит ва тизимнинг босими ва температураси тенглашгунча, яъни турғун мувозанат қарор топгунча давом этади. Амалиёт шуни кўрсатадики, мувозанатга эришган тизим кейинчалик шундай ҳолатда қолаверади, яъни ҳолатини ўзича ўзгар-тира олмайди.

Юқорида айтиб ўтилганлар асосида қуйидаги натижага келиш қийин эмас: тизим фақат мувозанат ҳолатига келмагунига қадаргина иш бажара олади.

Ҳақиқатан ҳам, ҳар қандай иссиқлик двигателида камида иккита иссиқлик манбаи - иссиқ ва совуқ манбалар бўлгандагина иш олиш мумкинлигини бундан олдин қайд қилиб ўтилган эди. Агар иссиқ ва совуқ манбалар температуралари тенглашса, яъни иссиқ манба, иш жисми ва совуқ манбадан иборат тизим иссиқлик мувозанатига келса, у ҳолда иссиқлик кучиши тўхтайди ва иш бажарилмайди.

Кўриб чиқилган барча мисоллардан кўриниб турибдики, тизимда мувозанатнинг бўлмаслиги тизимда баъзи бир ўзига хос катталиклар айирмасининг мавжудлиги билан тавсифланади.

Агар жараённи амалга ошириш тезлиги нолга интилса, ҳар қандай мувозанатдагимас жараён мувозанатдаги жараён бўлиб қолади. Шу билан бир вақтда ҳар қандай мувозанатдагимас жараён қайтмас ва ҳар қандай мувозанатдаги жараён қайтар бўлади.

Назорат учун саволлар.

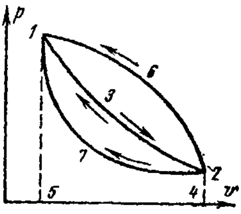
1. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунининг моҳияти.
2. Ички энергиянинг таърифи.
3. Газнинг кенгайишида бажарган иш қандай аниқланади?
4. Термодинамика биринчи қонунига таъриф беринг.
5. Энтальпия.
6. Қайтар жараёнлар.
7. Қайтмас жараёнлар.
8. Термодинамика биринчи қонунининг дифференциал тенгламаси.
9. Ички энергия қандай ҳолат параметрларига боғлиқ?
10. Амалда қайтар жараённи амалга ошириб бўладими?

УЧИНЧИ БОБ

ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

3.1. Айланма цикл

Термодинамик жараёндаги тизим иш бажариши учун унга даврий равишда маълум миқдордаги иссиқлик энергияси ёки иш жисми узатиб турилиши ва ишга тўла айланмасдан қолган иссиқлик миқдорини тизимдан ташқарига (совиткичга) узатиш керак. Шунда цикл даврий равишда такрорланади. Иш ҳажми сифатида фақат битта модда қўлланилса, у ҳолда модда аввал кенгаяди ва маълум миқдордаги ишни бажаради, сўнгра яна сиқилади, кейин бошланғич мувозанат ҳолатига қайтади.



3.1-расм

Цикл қайтадан такрорланади. 3.1-расмдан кўриниб турибдики, агар ишчи жисм 1-3-2 эгри чизиқ бўлаб кенгайса, у 132451 нуқталар билан чегараланган юзага сон қиймати жиҳатидан тенг иш бажаради.

Ишчи жисм 2-нуқтага етгандан сўнг, яна иш бажариши учун аввалги ҳолатига (3.1-расмга) қайтиши лозим. Ишчи жисмни бошланғич ҳолатига қайтиши уч хил бўлиши мумкин.

1. Сиқиш чизиғи 2-3-1 кенгайиш чизиғи 1-3-2 билан устма-уст тушади. Бундай жараёнда кенгайишда бажарилган иш (132451 юза) сиқиш ишига (231542 юза) тенг бўлади ва фойдали иш нолга тенг.

2. Сиқиш чизиғи 2-6-1 кенгайиш чизиғи 1-3-2 дан юқорида жойлаш-ган. Бундай жараёнда сиқишга (261542 юза) кенгайишда олинган ишга (132451 юза) қараганда кўпроқ иш сарфланади.

3. Сиқиш чизиғи 2-7-1 кенгайиш чизиғи 1-3-2 дан пастда жойлашган. Бундай айланма жараёнда кенгайиш иши (132451 юза) сиқиш ишидан (271542 юза) катта бўлади.

Демак, фойдали ишнинг қиймати 13271 нуқталар ҳосил қилган майдон юзасига сон қиймати жиҳатидан тенг бўлади. Фойдали иш олинадиган циклни тўғри цикл ёки иссиқлик машинаси цикли дейилади, бу ҳолда кенгайиш иши сиқиш ишидан катта бўлади.

Сиқиш иши кенгайиш ишидан катта, яъни, иш сарфланадиган циклга тескари цикл дейилади.

Бундай цикл билан совитиш машиналари ишлайди. Цикллар қайтар ва қайтмас бўлиши мумкин. Мувозанатли жараёнлардан ташкил топган циклга қайтар цикл дейилади.

Цикл таркибидаги ҳеч бўлмаганда битта жараён қайтмас бўлса, у ҳолда бутун цикл ҳам қайтмас бўлади.

3.1-расмда тасвирланган циклни қайтар цикл деб ҳисоблаб, уни таҳлил этайлик.

Ишчи жисм иситгичдан олинган q_1 иссиқлик ҳисобига 1-3-2 йўл бўйича кенгайиб, l_1 кенгайиш ишини бажаради. 2-7-1 йўлда сиқиш учун l_2 иш сарфланиб, совиткичга q_2 иссиқлик берилади ва маълум бир қисм иш ички энергияни бошланғич ҳолигача ортишига сарфлана-ди.

Тўғри цикл натижасида $l=l_1 \; l_2$ фойдали иш бажарилади.

Иссиқлик миқдори q_1 ва q_2 ҳамда фойдали иш орасидаги нис-бат термодинамиканинг биринчи қонуни орқали аниқланади:

$$q=q_1-q_2=u_2-u_1+l.$$

Циклда тизимнинг бошланғич ва охирги ҳолатлари бир хил бўлгани учун $u_1=u_2$, шунинг учун

$$q_1-q_2=l$$

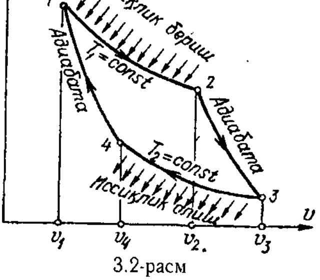
Бир цикл давомида фойдали ишга айланган иссиқлик миқдорини жисмга келтирилган умумий иссиқлик миқдорига нисбати тўғри циклнинг термик фойдали иш коэффициенти деб айтилади.

$$\eta_t = (q_1 - q_2)/q_1 = 1 - q_2/q_1 = l/q_1 \qquad (3.1)$$

3.2. Карно цикли. Карно теоремаси

Француз инженери Карно Никола Леонар Сади 1824 йилда "Оловнинг ҳаракатлантирувчи кучи ҳақида мулоҳазалар" асарида иссиқлик двигателлари назариясига асос солди.

Карно ўзининг бу ишида иссиқлик двигателининг термодинамикаси учун алоҳида аҳамиятга эга бўлган циклини (кейинчалик унинг номи билан аталган циклни) кўриб чиқди.



3.2-расм

Карно таклиф қилган цикл икки адиабата ва икки изотермадан иборат бўлиб, шу цикл бўйича ишлаган иссиқлик двигателининг Ф.И.К. энг юқори бўлади. Жараёндаги барча цикллар қайтар деб қабул қилинади (3.2-расм).

Ушбу циклни амалга оширишини чуқурроқ тушуниш учун, қуйидагидек иссиқлик машинасини кўз олдимизга келтирамиз, яъни, унинг цилиндри жараёнга қараб иссиқликни абсолют ўтказади ва иссиқликни абсолют ўтказмайди.

Поршеннинг биринчи ҳолатида

ишчи жисмнинг параметрлари p_1, v_1 ва температураси иситкич температураси T_1 га тенг бўлсин. Агар шу вақтда цилиндр иссиқликни абсолют ўтказадиган бўлса ва уни иситкичга туташтирсак, у ҳолда ишчи жисм q_1 иссиқликни олиб изотерма 1-2 бўйича кенгайиб иш бажаради.

2-нуқтанинг параметрлари p_2, v_2, T_1. Шу нуқтадан бошлаб цилиндр иссиқликни абсолют ўтказмайдиган бўлиш керак. Температураси Т1 бўлган ишчи жисм адиабата 2-3 бўйлаб температураси совиткич температураси T_2 га тенг бўлгунча кенгайиб иш бажаради.

3-нуқтанинг параметрлари p_3, v_3, T_2. Шу нуқтадан бошлаб цилиндрни абсолют иссиқлик ўтказувчан қиламиз. Ишчи жисмни 3-4 изотерма бўйича сиқиб, шу вақтнинг ўзида q_2 иссиқликни совиткичга берамиз. Изотермик сиқишнинг охирида ишчи жисмнинг параметрлари р4, v_4, T_2 га тенг бўлади.

Циклнинг термик Ф.И.К. биронта циклнинг такомиллашганлик даражасини тавсифлайди: термик Ф.И.К. қанчалик катта бўлса, цикл шунчалик такомиллашган бўлади: циклда иш жисмига айнан бир хилда иссиқлик миқдори q_1 берилганда ht си катта бўлган циклда кўп иш l бажарилади. Циклнинг термик Ф.И.К ҳар доим бирдан кичик бўлади, бирга тенг бўлиш учун $q_1 \to \infty$ ёки $q_2=0$ бўлиш керак. Тушунарликки, буни амалга ошириб бўлмайди.

Юқоридаги тенгламадан кўриниб турибдики, ишчи жисмга келтирилган барча иссиқликни (q_1) фойдали ишга айлантириб бўлмайди, албатта, унинг бир қисми (q_2) совиткичга берилиши лозим.

Агар циклни сиқиш чизиғи кенгайиш чизиғидан юқорида жойлашадиган қилиб амалга оширилса (2-6-1 йўл бўйича), бу ҳолда сиқиш иши катталиги жиҳатидан кенгайиш ишидан катта бўлганлигидан бундай циклни амалга ошириш учун бирорта ташқи манбадан иш келтириш керак (бу ишнинг катталиги pv- диаграммадаги сиқиш ва кенгай-иш чизиқлари оралиғидаги юзага тенг).

Тескари циклнинг амалга оширилиши натижасида иссиқлик совуқ манбадан олиниб, иссиқ манбага берилади; агар тўғри циклдагига ўхшаб совуқ манбадан олинган иссиқликни q_2 орқали, иссиқ манбага бериладиган иссиқликни эса q_1 орқали белгиласак, у ҳолда $q_1=q_2+l$ бўлиши муқаррардир. Тескари циклда иссиқ манбага совуқ манбадан олинадиган иссиқлик q_2 билан циклда келтирилган иш l га эквивалент бўлган иссиқликнинг йиғиндисига тенг бўлган q_1 иссиқлик берилади. Шундай қилиб, тескари циклни амалга ошириш натижасида совуқ манбанинг совиши содир бўлади. Тескари цикл совуқлик машинасининг циклидан иборатдир.

Тескари циклнинг такомиллашганлик даражаси циклнинг совитиш коэффициенти орқали аниқланади.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} \qquad (3.2)$$

Тўртинчи нуқтадан иссиқликни абсолют ўтказмайдиган цилиндрда адиабат сиқишни амалга ошириб, ишчи жисмни 4-1 йўл бўйича бошланғич ҳолатига олиб келамиз.

Шундай қилиб, бутун цикл бўйича иситкичдан ишчи жисмга q_1 иссиқлик узатилди ва совиткичга q_2 иссиқлик олиб кетилди.

Циклнинг термик Ф.И.К.:

$$\eta_t = q_1 - q_2 / q_1 = 1 - q_2 / q_1 \tag{3.3}$$

Изотерма 1-2 бўйича келтирилган иссиқлик:

$$q_1 = RT_1 \ln v_2 / v_1 \tag{3.4}$$

Изотерма 3-4 бўйича олиб кетилган иссиқлик:

$$q_2 = RT_2 \ln v_3 / v_4 \tag{3.5}$$

Олинган натижаларни (3.3) формулага қўямиз:

$$\eta_t = 1 - \frac{RT_2 \ln v_3 / v_4}{RT_1 \ln v_2 / v_1} = 1 - \frac{T_2 \ln v_3 / v_4}{T_1 \ln v_2 / v_1} \tag{3.6}$$

Адиабатик кенгайиш ва сиқиш жараёнлари учун:

$$(T_2 / T_1)^{1/(k-1)} = v_2 / v_3 \quad \text{ва} \quad (T_2 / T_1)^{1/(k-1)} = v_1 / v_4$$

у ҳолда

$$v_2 / v_3 = v_1 / v_4 \quad \text{ёки} \quad v_2 / v_1 = v_3 / v_4$$

Демак, қисқартиришлардан сўнг Карно циклининг термик Ф.И.К. қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta_t = 1 - T_2 / T_1 \tag{3.7}$$

(3.7) формуладан қуйидагидек хулосалар қилиш мумкин:

1) Карно циклининг термик Ф.И.К. ишлатилаётган жисмнинг хоссасига боғлиқ бўлмасдан, фақат иссиқлик манбалари абсолют тем-ператураларининг қуйи ва юқори қийматларига боғлиқ бўлар экан. (Карно теоремаси).

2) Карно циклининг термик Ф.И.К. иситкич температураси ўсиши ва совиткич температураси камайиши билан ортади.

3) Карно циклининг термик Ф.И.К. ҳар доим бирдан кичик бўлиб, бирга тенг бўлиши мумкин эмас.

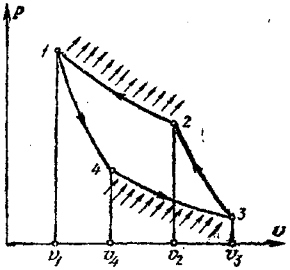
Термик Ф.И.К. бирга тенг бўлиши учун $T_2/T_1=0$, яъни $T_1=\infty$ ёки $T_2=0$ бўлиши керак. Тушунарлики, иккала шартни ҳам амалга ошириб бўлмайди.

4). Карно циклининг термик Ф.И.К. $T_1=T_2$ бўлганда нолга тенг, яъни тизимдаги барча жисмлар температураси тенг бўлса, иссиқликни ишга айлантириб бўлмайди.

Шуни эсда тутиш лозимки, Карно-циклини термик Ф.И.К. ни аниқлаш формуласи (3.7) фақат қайтар айланма жараёнлар учун тўғридир.

Маълумки, барча реал жараёнлар ишқаланиш, иссиқлик алмашиниш ва ҳ.к. лар туфайли қайтмасдир. Шунинг учун қайтмас Карно

циклининг термик Ф.И.К. $1-\frac{T_2}{T}$ дан кичик бўлади.



3.3-расм

Карно циклини фақат тўғри йўналишдагина эмас, балки, тескари йўналишда ҳам амалга ошириш мумкин. 3.3-расмда Карно тескари цикли тасвирланган.

Цикл қайтар жараёнлардан иборатлиги учун, циклни ўзи ҳам қайтар-дир.

Ишчи жисм 1-ҳолатдан адиабата 1-4 бўйича кенгайиб, температураси T_1 дан T_2 гача камаяди. Шундан сўнг ишчи жисм изотерма 4-3 бўйича кенгайишни давом эттириб, температураси T_2 бўлган совитгичдан q_2 иссиқликни олади. Ишчи жисм, кейин 3-2 адиабата бўйича сиқилиб, температураси T_2 дан T_1 гача кўтарилади. Охирги жараёнда ишчи жисм 2-1 бўйича изотермик сиқилади ва иситкичга q_1 иссиқлик узатилади. Шундай қилиб, тескари циклни амалга ошириш учун l иш сарфлаб, иситкичга

$q_1=q_2+l$ иссиқлик узатилади.

Тескари цикл бўйича ишлайдиган машиналар совитиш машиналари деб айтилади. Совитиш машиналарининг совитиш коэффициенти:

$$\varepsilon = q_2/(q_1-q_2)=q_2/l \qquad (3.8)$$

ёки тескари Карно цикли учун

$$\varepsilon = T_2/(T_1-T_2) \qquad (3.9)$$

Хуллас, Карно теоремасига мувофиқ иккита иссиқ манба орасида амалга ошириладиган ҳар қандай қайтар цикл термик Ф.И.К. нинг катталиги бу циклда ишлатиладиган иш жисм хоссаларига боғлиқ бўлмайди.

3.3. Энтропия

Энтропия (юнонча, entropia - айланиш, ўзгариш) термодинамик тизимнинг ҳолат функциясидир.

Энтропия термодинамик тизим билан ташқи муҳитнинг ўзаро иссиқлик алмашинуви жараёнининг кечиш йўналишини ифодалайди.

Идеал газ мисолида энтропияни ҳолат функцияси эканлигини исботлайлик.

$$dq=c_p dt - v dp \qquad (3.10)$$

тенгламани 1/T га кўпайтирамиз

$$\frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T} - v\frac{dp}{T} \qquad (3.11)$$

$v/T=R/p$ эканлигидан:

$$\frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T} - R\frac{dp}{p} \qquad (3.12)$$

Тенгламани ўнг томони интегралланади, яъни у қандайдир функциянинг тўлиқ дифференциалидир. Шу функцияни S ҳарфи билан белгилаймиз. Шундай қилиб қуйидагича ёзиш мумкин:

$$ds = dq/T = c_p \frac{dT}{T} - R\frac{dp}{p} \qquad (3.13)$$

$$ds = dq/T; \quad ds = dQ/T \qquad (3.14)$$

$$s = c_p \ln T - R\ln p + S_o \qquad (3.15)$$

$$s = c_v \ln T + R\ln v + S_o \qquad (3.16)$$

Шундай қилиб, ds=dq/T формула билан аниқланадиган ҳолат параметри аниқланди. S функция ички энергия ва энтальпияга ўхшаб ҳолат функциясидан иборат экан -унинг қиймати ҳолат параметрлари билан бир қийматда аниқланади. Клаузиус киритган функция S энтропия деб айтилади.

Энтропия экстенсив хосса бўлиб, у ҳам бошқа экстенсив катталикларга ўхшаб аддитивлик хоссасига эга. Солиштирма энтропия деб айтиладиган қуйидаги

$$s = \frac{S}{m} \qquad (3.17)$$

катталик модда масса бирлигининг энтропиясидан иборат бўлади.

Ҳолатнинг исталган бошқа функцияси каби тизимнинг солиштирма энтропияси ҳам ҳолатнинг исталган иккита параметри x, y нинг функцияси кўринишида тасаввур этиш мумкин.

$$S=f(x, y). \qquad (3.18)$$

Бу ерда x ва y сифатида p ва v, p ва T ва ҳоказолар бўлиши мумкин.

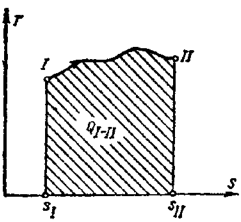
Тизимнинг энтропияси турли қайтар жараёнларда ортиши ва камайиши мумкинлиги (3.11) муносабатдан кўриниб турибди: температура катталиги T ҳар доим мусбат бўлганлигидан тизимга иссиқлик берилган-

да ($dq>0$) унинг энтропиясининг ортиши ($ds>0$), иссиқлик олинганда эса ($dq<0$) унинг энтропиясининг камайиши ($ds<0$). (3.11) муносабатдан келиб чиқади.

Қайтар жараёнда жисм ҳолати бошланғич ҳолат 1 дан охирги ҳолат 2 гача ўзгарганда жисм энтропиясининг қуйидаги

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dq}{T} \qquad (3.19)$$

катталикка ўзгариши ҳам (3.11) дан келиб чиқади. Энтропия тушунча-си иссиқлик двигателларининг циклларини анализ қилиш учун жуда қулай бўлган ҳолат диаграммасини киритишга имкон беради. Ҳолат диаграммасида абцисса бўйича энтропия, ордината бўйича эса абсолют температура қўйилади (3.4-расм).



3.4-расм.

Ихтиёрий жараён I-II нинг эгри чизиғини Ts -диаграммада тасвирлаймиз.

(3.11) тенгламадан қайтар жараёнда

$$dq = T \cdot ds \qquad (3.20)$$

эканлиги келиб чиқади.

Демак, қайтар жараёнда тизим олган (ёки берган) иссиқлик миқдори T-s - диаграммада жараён эгри чизиғи остидаги юза билан тасвирланади.

T-s - диаграмманинг қулайлиги шундаки, циклда келтирилган ва олинган иссиқлик миқдори ҳам циклни амалга ошириш натижасида олинган иш (ёки агар цикл тескари бўлса, сарфланган иш) унда яққол тасвирланади.

3.4. Термодинамика иккинчи қонунининг талқини

Термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг сақланиш ва айланиш жараёнини миқдорий томондан тавсифлайди. Термодинами-канинг иккинчи қонуни бу жараёнларнинг сифат томонини тавсифлайди. Термодинамиканинг биринчи қонуни биронта жараённинг энергетик балансини тузиш учун зарур бўлган барча маълумотларни беради, лекин у, биронта жараённинг содир бўлиши ёки бўлмаслиги ҳақида ҳеч қандай маълумот бермайди.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни ҳам, биринчи қонун каби тажриба асосида таърифланганлигини таъкидлаб ўтиш лозим.

Термодинамиканинг иккинчи қонунини умумий кўринишда қуйидагича таърифлаш мумкин:

Ўз-ўзидан содир бўладиган ҳар қандай жараён қайтмас жараёндир. Иккинчи қонуннинг барча бошқа таърифлари бу умумий таърифнинг хусусий ҳолларидан иборат.

Ҳар-хил олимлар термодинамиканинг иккинчи қонунига турлича таъриф берганлар.

Шу таърифлар ҳақида қисқача маълумот берайлик.

1. Сади Карно (1824 йилда) қуйидаги таърифни берди: "Термодинамик тизим иш бажара олиши учун камида турли температурали икки манба зарур. Иссиқлик двигателлари Ф.И.К. h>1 бўла олмайди".

2. Р. Клаузиус (1850 йилда) қуйидаги таърифни таклиф этди: "Иссиқлик анча совуқ жисмдан анча иссиқ жисмга ўз-ўзидан ўта олмайди".

3. В. Томсон (Лорд Кельвин) 1851 йилда қуйидаги таърифни таклиф этди: "Жонсиз материал агент ёрамида модданинг қандайдир массасидан уни атрофдаги предметлардан энг совуғининг температурасидан паст температурагача совитиш йўли билан механикавий иш олиб бўлмайди".

4. М. Планк қуйидаги таърифни таклиф этди: "Барча иши биронта юкни кўтариш ва иссиқлик манбаини совитишдан иборат бўлган даврий ишлайдиган машина қуриб бўлмайди".

5. В.Ф. Оствольд қуйидаги таърифни таклиф этди: "Иккинчи тур аба-дий двигательни, (фақатгина битта иссиқлик манбаи ҳисобига ишлайдиган) қуриб бўлмайди".

Шуни айтиб ўтиш лозимки, иккинчи тур абадий двигателининг мавжуд бўлиши термодинамиканинг биринчи қонунига қарши бўлмайди.

Ҳақиқатан ҳам бу двигательда иш ҳеч нарсадан эмас, балки иссиқлик манбаининг ички энергияси ҳисобига бажарилган бўлур эди.

Иссиқлик жараёнларининг ўзига хос муҳим хусусиятини таъкидлаб ўтиш зарур. Механик ишни, электрик ишни, магнит кучларининг ишини ва ҳоказоларини қолдиқсиз, батамом тўла иссиқликка айлантириш мумкин.

Иссиқликка келсак, даврий такрорланадиган жараёнда унинг бир қисмигина механик ва бошқа турлардаги ишга айланиши мумкин: унинг бошқа қисми муқаррар равишда совуқ манбага берилиши керак.

3.5. Эксергия

Тизим мувозанатда бўлмаган ҳолатдан мувозанатдаги ҳолатга ўтаётганда бажариши мумкин бўлган энг катта ишни олиш учун тизимда бўлаётган барча жараёнлар тўла қайтар бўлиши керак.

Шунинг учун тизим бажара оладиган максимал фойдали ишнинг қийматини аниқлаш (айрим ҳолларда тизимнинг иш бажара олишини аниқлаш ҳам дейдилар) жуда муҳим вазифадир.

Маълумки, изоляцияланган тизим фақат мувозанатда бўлмаган ҳолатда бўлгандагина иш бажара олади. Мувозанатдаги ҳолатга эришгандан сўнг у иш бажара олмайди.

Карно циклида максимал ишни фақат ишчи жисм температураси иссиқ манба температурасига тенг бўлганда ва ишчи жисмнинг энг паст температураси совуқ манба температурасига тенг бўлганда, яъни қайтар жараёнлар содир бўлганда олиш мумкин. Бундан кўриниб турибдики, тизим мувозанат бўлмаган ҳолатдан мувозанат ҳолатига ўтишида, максимал ишни фақат қайтар адиабат ва изотермик жараёнлар амалга ошгандагина олиш мумкин.

Энди, кўриб чиқилаётган тизим бажариши мумкин бўлган максимал иш тушунчасини бирмунча яхшироқ аниқлаб оламиз.

Айтайлик ишчи жисм ва муҳит изляцияланган адиабатик тизим бўлсин. Демак унга иссиқлик келтирилмайди ва олиб кетилмайди яъни Q=0. Тизимни бошланғич ички энергиясини U^1 ва охиргисини U^{11} билан белгилаймиз.

У ҳолда термодинамиканинг биринчи қонунига асосан:

$$U^{11}-U^1+L=Q=0. \qquad (3.21)$$

Кўриб чиқилаёттан тизим таърифига кўра берк тизим бўлганлигидан тизим ишни фақат ўз ички энергиясининг камайиши ҳисобига бажариши мумкин:

$$L=U^1 - U^{11} \qquad (3.23)$$

Тизимнинг ички энергияси аддитив катталикдир, шунинг учун у муҳит ва иш манбаисининг ички энергияларидан ташкил топган бўлади. Муҳитнинг бошланғич ва охирги ҳолатдаги ички энергиясини U_{01} ва U_{02} билан, иш манбаини бошланғич ва охирги ҳолатдаги ички энергиясини мос равишда U_1 ва U_2 билан белгилайлик, у ҳолда.

$$U^1=U^1+U_{01} \quad \text{ва} \quad U^{11}=U_2+U_{02}$$

ва

$$L=U_1+U_{01}-U_2-U_{02} \quad \text{ёки} \quad L=(U_1-U_2) + (U_{01}-U_{02}) \qquad (3.24)$$

Ишчи жисм муҳит билан иссиқлик алмашиниши ва муҳит босимига қарши иш бажариши мумкин. Qo билан ишчи жисмдан муҳитга берилган иссиқликни, Lo билан муҳит устида бажарилган ишни белги-лайлик.

У ҳолда

$$U_{02}-U_{01}=Q_o+L_o \qquad (3.25)$$

Муҳит босими ўзгармас бўлгани учун

$$L_0=p_0(V_2-V_2)$$

Бу ерда V_1 ва V_2 - ишчи жисмни бошланғич ва охирги ҳажмлари. У ҳолда:

$$U_{01}-U_{02}= -Q_o - p_o (v_2-v_1) \qquad (3.26)$$

Муҳитнинг ички энергиясининг ўзгаришини (3.26) тенглама-дан (3.25) тенгламага қўйиб, қуйидагини аниқлаймиз:

$$L=(U_1 - U_2) -Q_0 - P_0 (V_2 - V_1) \qquad (3.27)$$

Муҳитга узатилган иссиқлик миқдори Qo муҳит температураси То билан, муҳит энтропиясининг ўзгариши кўпайтмасига тенг:

$$Q_o=T_o (S_{02} - S0_1) \qquad (3.28)$$

(3.28) тенгламани (3.27) тенгламга қўямиз.

$$L=(U_1 - U_2) - T_0 (S_{02} - S_{01}) - p_0 (v_2' - v_1) \qquad (3.29)$$

(3.29) тенглама мувозанатда бўлмаган ҳолатдан мувозанат ҳолатга ўтишда изоляцияланган система бажарган фойдали ишнинг қийматини беради, чунки бажарилган барча ишдан бу ишнинг муҳитни сиқишга кетган ва бинобарин, бизнинг ихтиёримизга кўра фойдаланиб бўлмайдиган қисми ро $(v_2 - v_1)$ айрилади.

Изоляцияланган тизимнинг максимал фойдали иши (иш бажара олиши) катталигини топиш учун қайтар жараёнларнинг ўтиши натижасида изоляцияланган тизим энтропияси ўзгармайди деган ҳолдан фойдаланиш зарур.

$$S_{02} - S_{01}= S_1 - S_2 \qquad (3.30)$$

Бу ерда S_1 ва S_2 - ишчи жисмнинг бошланғич ва охирги ҳолатдаги энтропияси.

(3.29) ва (3.30) тенгламаларни ҳисобга олиб, изоляцияланган тизимнинг максимал фойдали иши учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$L_{фойд}^{макс} = (U_1 - U_2) - T_o(S_1' - S_2) + P_o(V_1 - V_2) \qquad (3.31)$$

Бу муносабатдан кўриниб турибдики, тизимнинг максимал фойдали ишининг катталиги иш манбаининг бошланғич параметрлари ва муҳит параметрлари билан бир қийматда аниқланади. Тизимдан максимал фойдали ишдан каттароқ иш олиш мумкин эмас.

Иш манбаини иш бажара олиш қобилиятидан тўлиқ фойдаланиш

учун $P_0=P_2$ ва $T_0=T_2$ бўлиши керак. Бундай ҳолда иш жисмининг қолган барча параметрлари муҳит параметрлари билан аниқланади; яъни

$$U_2=U_0 \text{ ва } V_2=V_0.$$

У ҳолда (3.23) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$L_{фойд}^{макс}=(U_1-U_0)-T_0(S_1-S_0)+P_0(V_1-V_0)$$

ёки

$$L_{фойд}^{макс}=(H_1-H_0)-T_0(S_1-S_0) \qquad (3.32)$$

Бу ерда Но ва So - ташқи муҳит билан мувозанатда турган ишчи жисмнинг энтальпияси ва энтропияси. (3.24) тенгламада (H_1-H_0) ишчи жисмни қайтар адибатик жараёнда бажарган ташқи фойдали иши, То (S_1-S_0) эса, ишчи жисмни қайтар изотермик жараёнда бажарган ташқи фойдали иши.

Демак юқорида айтиб ўтилганидек, ишчи жисм ҳолати бошланғич ҳолатдан атроф-муҳит ҳолатигача ўзгарганда, максимал фойдали иш қайтар адибатик ва изотермик жараёнларни амалга оширилганда олинади.

(3.32) формуладан аниқланган максимал фойдали ишни иш жисмини иш бажара олиши ёки эксергияс и деб айтилади.

Кейинги пайтларда термодинамик жараёнларни тадқиқот этишда эксергия тушунчасидан кенг фойдаланилмоқда.

Эксергия ёрдамида тадқиқот услубига эксергетик тадқиқот услуби деб айтилади.

Умуман олганда солиштирма эксергия L деб, қайтар термодинамик жараёнда тизим бошланғич ҳолатдан атроф-муҳит ҳолатигача ўзгарганда иссиқликни ёки ишчи жисмни солиштирма иш бажара олишига айтилади.

Бундай қайтар жараённи икки қайтар: адиабатик (ишчи жисм температураси То дан муҳит температураси То гача ўзгаради) ва изотермик (адиабатик жараён охиридаги босим муҳит босими p_0 гача ўзгаради) жараёнлар орқали амалга ошириш мумкин.

Шунинг учун ишчи жисм эксергиясини (3.32) формуладан 1 кг ишчи жисм учун қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$L=(h_1-h_0)-T_0(s_1-s_0)$$

Агар бирорта жараёнда ишчи жисмнинг охирги параметрлари муҳит параметрларидан фарқ қилса, у ҳолда бу жараёнда олинган ҳақиқий иш жараённи боши ва охиридаги эксергиялар фарқи билан аниқланади, яъни:

$$L_{ҳақ}=L_1-L_2.$$

Маълумки, максимал фойдали ишни қайтар Карно циклини бошлангич тёмпературадан муҳит температурасигача амалга оширил-ганда олиш мумкин. у ҳолда:

$$d\,\ell q = dq\,\eta_t^{карно} = dq(1 - To/T)$$

ёки жами жараён учун

$$\ell q = \int_1^2 (1 - To/T)\,d\,q = (1 - To/Ty)\,q_{1-2}$$

бу ерда Lq - иссиқлик эксергияси;

Ту - жараённинг ўртача температураси.

Изоляцияланган тизимда содир бўладиган жараёнларнинг қайтмас жараён бўлиши натижасида иссиқликнинг иш бажара олувчанлигининг йўқотишлари кузатилади.

Демак, жараёнларни қайтувчанлик даражасини тавсифлайдиган эксергетик Ф. И. К. тушунчасини киритиш мумкин.

Эксергетик ф.и.к. қуйидагига тенг:

$$\eta_\ell = 1 - \Delta\ell / \ell_1$$

Бу ерда $\Delta\,\ell$ - келтирилган ва олиб кетилган эксергиялар фарқи; l_1 -келтирилган эксергия. Бу катталик орқали ҳар қандай иссиқлик аппаратини термодинамик мукаммалигини аниқлаш мумкин.

Назорат учун саволлар.

1. Айланма цикл деб қандай циклга айтилади?
2. Тўғри цикл.
3. Тескари цикл.
4. Карно цикли.
5. Карно теоремаси.
6. Карно циклининг Ф.И.К. нимага боғлиқ?
7. Энтропиянинг моҳияти.
8. Энтропия қандай параметрларга боғлиқ?
9. Ихтиёрий циклда энтропияни аниқлаш формуласи.
10. Термодинамика иккинчи қонунининг моҳияти нимадан иборат?
11. Карно таърифи.
12. Планк таърифи.
13. Иккинчи тур абадий двигателни нима учун яратиб бўлмайди?
14. Карно цикли pv- ва Ts - диаграммада қандай тасвирланади?
15. Эксергия.

ТЎРТИНЧИ БОБ

ИДЕАЛ ГАЗЛАРНИНГ ТЕРМОДИНАМИК ЖАРАЁНЛАРИ

4.1. Термодинамик жараёнларни ўрганиш йўллари

Термодинамиканинг биринчи қонуни иссиқлик миқдори, ички энергиянинг ўзгариши ва ташқи кучларга қарши бажарилган фойдали иш ўртасидаги муносабатни белгилайди. Жисмга узатилаётган ёки ундан олиб кетилаётган иссиқлик миқдори жараённинг турига боғлиқ бўлади.

Асосий термодинамик жараёнлар қуйидагилардан иборат:

1. Ўзгармас ҳажмда кечадиган изохорик жараён.
2. Ўзгармас босимда кечадиган изобарик жараён.
3. Ўзгармас температурада кечадиган изотермик жараён.
4. Ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаган ҳолда кечадиган адиабатик жараён.
5. Юқоридаги термодинамик жараёнларни умумлаштирган политроп жараён.

Политроп жараёнда тизимнинг иссиқлик сиғими ўзгармас бўлади.

Барча жараёнларни ўрганишда умумий услуб қўлланилиб, унинг моҳияти қуйидагидан иборат:

1. Жараённинг p ва Ts диаграммадаги эгри чизиқ тенгламаси келтириб чиқарилади;
2. Ишчи жисмнинг ҳолат параметрлари орасидаги боғланиш аниқланади.
3. Қуйидаги формулалар орқали ички энергиянинг ўзгариши аниқланади:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_{t_1}^{t_2} c_v dt = c_{vm} \Big|_0^{t_2} t_2 - c_{vm} \Big|_0^{t_1} t_1$$

ёки сиғим ўзгармас бўлганда:

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

4. Тизимнинг кенгайиш иши қуйидаги тарзда аниқланади:

$$\ell = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

5. Термодинамик жараённинг иссиқлик миқдори қуйидаги формула орқали ҳисобланади:

$$q_{1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c_x dt = c_{xm} \Big/_0^{t_2} t_2 - c_{xm} \Big/_0^{t_1} \cdot t_1;$$

6. Жараёнда энтальпиянинг ўзгариши қуйидаги формуладан аниқланади:

$$h_2 - h_1 = c_{pm} \Big/_0^{t_2} t_2 - c_{pm} \Big/_0^{t_1} t_1,$$

ёки ўзгармас сиғим учун

$$h_2 - h_1 = c_p(t_2 - t_1);$$

7. Идеал газнинг энтропиясини ўзгаришини қуйидаги формулалар ёрдамида аниқлаймиз:

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

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

Текширилаётган барча жараёнлар, қайтар жараёнлар эканлигини таъкидлаб ўтамиз.

4.2. Изохорик жараён

Изохорик жараёнга ёпиқ идишда газнинг исиши ёки совиши мисол бўла олади.

Ўзгармас ҳажмда кечадиган жараёнга изохорик жараён ($dv=0$, ёки $v=const$) деб айтилади. Жараён эгри чизиғи изохора деб айтилади. 4.1-расмда жараённинг pv- ва Ts- диаграммалари тасвирланган.

Идеал газнинг ҳолат тенгламаси:

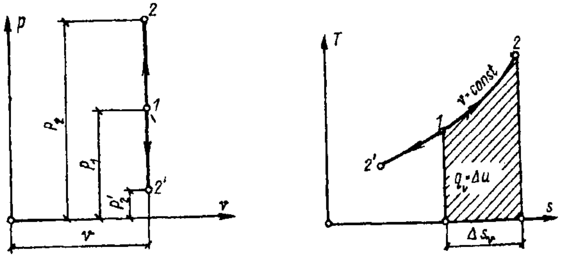
$pv=RT$ дан

$v=const$ учун

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

Изохорик жараёнда босимлар нисбати абсолют температуралар нисбатларига тенг бўлади, яъни босим ўзгариши бу жараёндаги абсолют температура ўзгаришига тўғри пропорционалдир.

$$p_1/p_2=T_1/T_2 \qquad (4.1)$$



4.1-расм. Газ ҳолатини изохорик жараёнда ўзгаришининг pv - ва Ts - диаграммалари

Изохорик жараёнда газ ҳажмининг ўзгариши $dv=v_1-v_2=0$, бўлганлигидан

$$A=\int_{v_1}^{v_2} pdv=0 \qquad (4.2)$$

Яъни, изохорик жараёнда газ иш бажармайди. Термодинамиканинг биринчи қонунини dA=0. Ҳол учун ёзамиз:

$$dq_v=du_v=c_v dt \qquad (4.3)$$

Сиғим ўзгармас бўлганда:

$$q_{v,1-2}=\int_{t_1}^{t_2} c_v dt=c_v(t_2-t_1)=u_2-u_1 \qquad (4.4)$$

Демак, тизимга берилган dq иссиқлик миқдори шу тизим ички энергиясининг ўзгаришига сарфланар экан.

Сиғим ўзгарувчан бўлганда:

$$d_{v,1-2}=U_2-U_1=Cvm\int_0^{t_2} t_2-Cvm\int_0^{t_1} t_1 \qquad (4.5)$$

4.1-расмдан кўриниб турибдики, изохорик жараён босим ортиши билан кечса, демак тизимга иссиқлик келтирилади ва ишчи жисмнинг ички энергияси ва температураси ортади.

Агар изохорик жараёнда босим камайса, у ҳолда иссиқлик олиб кетилади ва ички энергия ҳамда температура камаяди.

Изохорик жараён учун энтропиянинг ўзгаришини қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз.

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

лекин v=const учун $\ln v_2/v_1=0$.

Шунинг учун

$$s_2 - s_1 = c_v \ln T_2 / T_1 = c_v \ln p_2 / p_1 \qquad (4.6)$$

Демак, изохорик жараёнда газ иш бажармайди. Унга узатилган dq иссиқлик миқдори термодинамик тизим ички энергиясининг ўзгаришига сарфланади.

4.3. Изобарик жараён

Ўзгармас босим остида кечадиган термодинамик жараёнларга изобарик жараён (p=const) дейилади. Жараённинг графиги. 4.2-расмда тасвирланган.

Жараён эгри чизиғи изобара деб айтилади. Ҳар иккала ҳолат учун жараённинг ҳолат тенгламаларини ёзамиз:

$$p_1 v_1 = RT_1; \; p_2 v_2 = RT_2$$

p=const учун

$$v_1 / v_2 = T_1 / T_2 \qquad (4.7)$$

Бундан шу нарса келиб чиқадики, газ температураси қанчалик юқори бўлса, унинг солиштирма ҳажми шунчалик катта бўлади (яъни зичлиги шунчалик кичик бўлади).

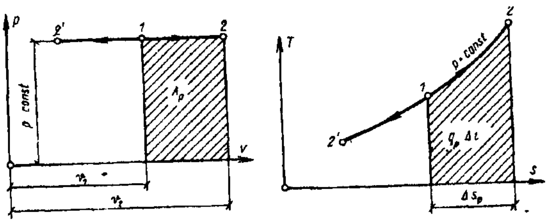
Изобарик жараёнда тизимнинг кенгайиш иши қуйидаги тарзда аниқланади:

$$A_p = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv = p\int_{v_1}^{v_2} dv = p(v_2 - v_1) \qquad (4.8)$$

ёки

$$A_p = R(T_2 - T_1) = R\Delta T \qquad (4.9)$$

Охирги тенгламадан кўриниб турибдики, агар ΔT=1° бўлса, Ap=R бўлади.



4.2-расм. Газ ҳолатини изобарик жараёнда ўзгаришининг pv - ва Ts - диаграммалари

Шундан кўриниб турибдики, агар температуралар фарқи 1° бўлса, универсал газ доимийси изобарик жараёнда тизимнинг бажар-ган ишини тавсифлар экан.

Изобарик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонунини (p=const, ёки dp=0) ёзамиз:

$$dqp=cpdt=dh \qquad (4.10)$$

Демак, изобарик жараёнда тизимга келтирилган иссиқлик миқдори (c=const) қуйидагига тенг:

$$q_{p,1-2} = \int_{t_1}^{t_2} c_p dt = c_p(t_2 - t_1) = h_2 - h_1, \qquad (4.11)$$

Сиғим ўзгарувчан бўлса:

$$q_{p,1-2} = c_{pm} \Big/_0^{t_2} t_2 - c_{pm} \Big/_0^{t_1} t_1 = h_2 - h_1 \qquad (4.12)$$

Изобарик жараёнда тизимга узатилган иссиқлик миқдори энтальпиянинг ўзгаришига тенг экан.

Демак, изобарик жараёнда термодинамик тизимга узатилган иссиқлик миқдори асосан шу тизим ички энергиясининг ортишига ва оз қисми ташқи механик иш бажаришга сарф бўлар экан.

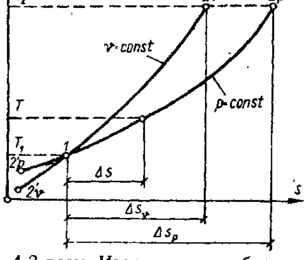
Изобарик жараён учун сиғим ўзгармас бўлганда энтропиянинг ўзгариши қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$s_2 - s_1 = c_p \ln T_2/T_1 - R \ln p_2/p1$$

лекин, p=const учун $\ln p_2/p_1 = 0$.

Шунинг учун

$$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} (c_p/T)dT = c_p \ln T_2/T_1 = c_p \ln v_2/v_1 \qquad (4.13)$$



4.3-расм. Изохорик ва изобарик жараёнларнинг Ts-диаграммаси

(4.6) ва (4.13) тенгламаларни таққослашдан кўриниб турибдики, агар температуралар T_2 дан T_2 гача ўзгарганда ΔSp>ΔSp бўлади, чунки $c_p > c_v$.

Шу сабабли изохора графиги изобарага нисбатан тикроқ бўлади (4.3-расм).

Демак, термодинамик тизимларга бир хил миқдорда иссиқлик энергияси берилса ҳам, энтропиянинг ўзгариши изохорик жараёнда изобарик жараёнга нисбатан тезроқ ўзгаради.

4.4. Изотермик жараён

Ўзгармас (T = const) температурада содир бўладиган термоди-намик жараён изотермик жараён дейилади. Бойль-Мариотт қонунига асосан p =const. Изотермик жараённинг pv координаталари диаграм-маси гиперболадан, Ts -координатадаги диаграммаси обцисса ўқига параллел чизиқдан иборат (4.4-расм).

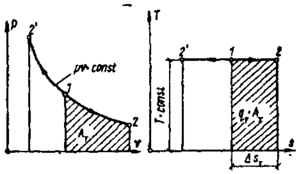
Тизим ҳолатларининг тенгламаларини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$p_1 v_1 = RT_1; \quad p_2 v_1 = RT_1.$$

T=const бўлганлиги учун $T_1=T_2$.

Бойль-Мариотт қонунининг ифодаси тизим ҳолат тенгламала-рининг нисбатидан топилади.

$$p_1/p_2 = v_2/v_1 \text{ ёки } p_1 = p_2 v_2 ... p_n v_n = const \qquad (4.14)$$



4.4-расм. Газ ҳолатини изотермик жараёнда ўзгаришининг pv - ва Ts - диаграммалари

Демак, ўзгармас температурадаги берилган газ массаси боси-мининг ҳажмига кўпайтмаси ўзгармас катталикдир.

Жараённинг ишини газнинг кенгайиш иши $A = \int_{v_1}^{v_2} p dv$ орқали аниқлаш мумкин.

Газнинг ҳолат тенгламасидан $p=RT/v$.

У ҳолда

$$A_T = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2} \qquad (4.15)$$

Термодинамик тизимга узатилган иссиқлик миқдорини термодинамиканинг биринчи қонунини ёзиб, унинг таҳлилидан аниқлаймиз.

$dq_T = c_v dt + pdv$

Изотермик жараёнда T= const бўлганлиги учун dT=0. Шу сабабли $du=c_v dt$ эканлигидан, изотермик жараёнда ички энергиянинг ўзгариши нолга тенг, яъни

$$du=0 \qquad (4.16)$$

Демак, тизимга узатилган иссиқлик миқдори ташқи таъсир кучига қарши механик иш бажаришга сарфланади.

$$d_{qT}=dA \qquad (4.17)$$

Иссиқлик миқдори Ts-диаграммада баландлиги T ва асоси Δs_t га тенг тўртбурчак юзига тенг, яъни $q_T=T\cdot\Delta s$. Изотермик жараёнда энтропиянинг ўзгаришини қуйидаги формуладан аниқланади.

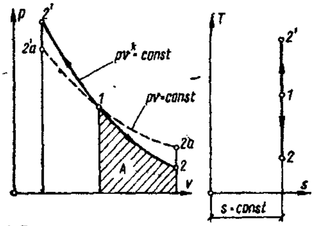
$$\Delta s_T = R\ln\frac{v_2}{v_1} = R\ln\frac{p_1}{p_2} \qquad (4.18)$$

У ҳолда

$$q_T = T\cdot\Delta s_T = RT\ln\frac{v_2}{v_1} = RT\ln\frac{p_1}{p_2} \qquad (4.19)$$

4.5. Адиабатик жараён

Иш моддаси ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаган ҳолда кечадиган термодинамик жараён адиабатик жараён дейилади. Жараённинг эгри чизиғи адиабата дейилади (4.5-расм).



4.5-расм. Газ ҳолатини адиабатик жараёнда ўзгаришининг pv ва Ts - диаграммалари

Ташқаридан тизимга иссиқлик узатилмайди ва ундан чиқарилмайди, яъни $dq=0$. Реал шароитда реал жараёнлар мувозанатда бўла олмайди, шунинг учун адиабатик жараён бўлиши мумкин эмас.

Аммо тез кечадиган жараёнларни адиабатик жараён деб қараш мумкин.

Ташқаридан тизимга киритилган иссиқлик миқдори $dq_A=0$ бўлганлиги учун, шу тизим энтропиясининг ўзгариши $ds=dq_A/T=0$ бўлади. Демак, тизимда кечадиган жараён адиабатик бўлса, бундай термодинамик тизимнинг энтропияси ўзгармасдир, яъни s=const.

Адиабата тенгламасини келтириб чиқарайлик. Термодинами-канинг биринчи қонуни тенгламасидан $dq=0$ бўлганда:

$$c_p dT - vdp = 0 \text{ ва } c_v dT + pdv = 0.$$

Биринчи тенгламани иккинчисига бўлиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{c_p dT}{c_v dT} = -\frac{vdp}{pdv} \quad \text{ёки} \quad k\frac{dv}{v} = -\frac{dp}{p}$$

Охирги тенгламани к= const (c_p=const ва c_v=const) деб ҳисоблаб интеграллаймиз:

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

юқоридаги тенгламани потенцирласак:

$$(v_2/v_1)^к = p_1/p_2 \text{ ёки } p_1v_1^к = p_2v_2^к$$

ҳосил бўлади.

У ҳолда адиабата тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$pv^k = const. \qquad (4.20)$$

Бунда $к = c_p/c_v$ - изобарик солиштирма иссиқлик сиғимини изохорик солиштирма иссиқлик сиғимидан неча марта катталигини кўрсатувчи коэффициент бўлиб, у адиабата кўрсаткичи дейилади.

(4.20) муносабат Пуассоннинг адиабата тенгламаси деб айтилади.

Адиабата тенгламаси (4.20) дан газ ҳолатининг параметрлари орасидаги боғланишни ифодаловчи адиабатик жараён тенгламаларини келтириб чиқариш мумкин:

p ва v ўртасида

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^к, \qquad (4.21)$$

T ва v ўртасида:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{к-1}, \qquad (4.22)$$

p ва T ўртасида

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{к-1}{к}} \qquad (4.23)$$

Адиабатик жараёнда газнинг бажарган иши ички энергиянинг ўзгаришига тенг, яъни

$$du + pdv = 0 \text{ ёки } du = -pdv \qquad (4.24)$$

Газ ҳажмининг ортиши натижасида унинг босими ва температураси камаяди, сиқилганда эса аксинча.

Бундай жараён фақат газ ички энергиясининг ортиши ёки камайиши ҳисобига содир бўла олади.

Адиабатик жараёнда бажарилган ишни термодинамиканинг биринчи қонунидан келтириб чиқариш мумкин.

$$q=\Delta u+A=0.$$

$c_v=const$ да $A=-\Delta u$-$c_v(T_1-T_2)$

ёки $$A=\frac{c_v}{R}(p_1v_1-p_2v_2)$$ (4.25)

$c_v/R=c_v(c_p-c_v)=1/(k-1)$ эканлигидан

$$A=\frac{1}{k-1}(p_1v_1-p_2v_2)$$ ҳосил қиламиз. (4.26)

Ушбу тенгламада $p_1v_1=RT_1$ ва $p_2v_2=RT_2$ эканлигидан

$$A=\frac{p_1v_1}{k-1}\left(1-\frac{p_2v_2}{p_1v_1}\right)$$ (4.27)

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

у ҳолда $$A=\frac{p_1v_1}{k-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]$$ (4.28)

Энди pv- ва Ts- диаграммаларда изотерма ва адиабатанинг жойлашувига эътибор берайлик (4.5-расм).

Изотермик жараён бўйича газ кенгайса, унинг босими адиабатага нисбатан секинроқ, газ сиқилганда эса, адиабатик жараёндагига нисбатан яна ҳам секинроқ ўзгаради. Адиабатик жараён графигининг тиклигига асосий сабаб, ўрганилаётган газ кенгайганда унинг ички энергияси ва температураси камаяди, агар газ сиқилса, унинг ҳажмини камайиши натижасида ички энергияси ва температураси ортади.

4.6. Политроп жараён

Тизим (идеал газ) нинг солиштирма иссиқлик сиғими (c=const) ўзгармас бўлган термодинамик жараён политроп жараён дейилади.

Жараён эгри чизиғи политропа дейилади (4.6-расм).

Термодинамик жараён таърифидан кўриниб турибдики, асосий термодинамик жараёнлар: изотермик, изохорик, изотермик ва адиабатик жараёнлар ўзгармас сиғимда кечса, улар политроп жараённинг хусусий ҳоли бўлади.

Политроп жараённинг иссиқлик миқдори жараён иссиқлик сиғими с ва бошланғич ҳамда охирги ҳолат температуралари фарқи t_1-t_2 кўпайтмаси орқали ифодаланиши мумкин.

$$q=c(t_2-t_1) \text{ ва } dq=cdt$$ (4.29)

Политроп жараённинг тенгламасини термодинамиканинг биринч қонуни тенгламасидан келтириб чиқариш мумкин:

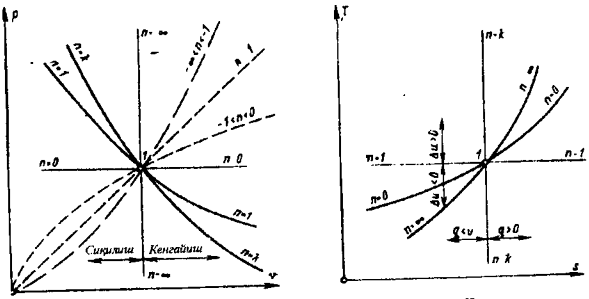
$$dq=cdt=c_p dT - vdp \text{ ва } dq=cdT=c_v dt+pdv$$

шу тенгламалардан:

$$(c-c_p)/(c-c_v)=-vdp/pdv$$

Тенгламанинг чап томонини n деб белгиласак, қуйидагини ҳо-сил қиламиз:

$$(c-cp)/(cn-cv)=n \text{ ва } ndv/v=-dp/p$$



4.6-расм. Газлар ҳолати ўзгариш жараёнларининг pv - ва Ts - диаграммалардаги бирлашган графиги

ҳосил бўлган тенгламани интеграллаб қуйидаги кўринишга келти-миз:

$$n \lg v_2/v_1=\lg p_1/p_2$$

ёки

$$pv^n=const \qquad (4.$$

Ҳосил бўлган (4.30) тенглама политроп жараён тенгламаси д-лади.

$n=\dfrac{c-c_p}{c-c_v}$ – политроп кўрсаткичи.

Демак, политроп жараёндаги тизимнинг ҳолат параметрлари ўз-ҳам унинг политроп кўрсаткичи ўзгармасдан қолар экан.

Политроп жараённи юқорида қараб чиқилган жараёнларнинг умумлашган ҳоли деб қараш мумкин.

Чунки, политроп кўрсаткичи қийматини - ∞ дан + ∞ гача оралиқда ўзгартириб, изохорик (n=+∞), изобарик (n=0), изотермик (n=1) ва адиабатик (n=k) жараёнлар тенгламаларини ҳосил қилиш мумкин.

Политроп жараён тенгламаси адибатик жараён тенгламасидан фақаттина n нинг қиймати билан фарқланиши туфайли, параметрлар орасидаги боғланиш адиабат жараён каби бўлади:

$$p_2/p_1=(v_1/v_2)^n;\ T_2/T_1=(v_1/v_2)^{n-1};\ T_2/T_1=(p_2/p_1)^{\frac{n-1}{n}} \qquad \textbf{(4.31)}$$

Политроп жараённинг иссиқлик сиғимини (4.31) формуладан аниқлаймиз:

$$c=c_v\left[(n-k)/(n-1)\right] \qquad \textbf{(4.32)}$$

(4.32) тенглама n нинг ҳар қандай қиймати учун жараён исиқлик сиғимини аниқлаш имконини беради.

(4.32) тенгламага юқорида кўриб чиқилган жараёнлар учун n нинг қийматини қўйсак, у ҳолда шу жараёнларнинг иссиқлик сиғимларини аниқлаш мумкин:

изохорик жараёнда n=+∞, $c=c_v$;
изобарик жараёнда n=0, $c=kc_v=c_p$;
изотермик жараёнда n=1, c=+∞ ;
адиабатик жараёнда n=к, c=0 ;

Политроп жараёнда кенгайиш иши тенгламаси адиабатик жараёндагига ўхшаш бўлади:

$$A=\frac{1}{n-1}(p_1v_1-p_2v_2) \qquad \textbf{(4.33)}$$

$$A=\frac{R}{n-1}(T_1-T_2) \qquad \textbf{(4.34)}$$

ва

$$A=\frac{p_1v_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \qquad \textbf{(4.35)}$$

Политроп жараёнда ички энергиянинг ўзгариши ва иссиқлик қуйидаги формулалардан аниқланади.

$$\Delta u=c_v(t_2-t_1)$$

$$q=c(t_2-t_1)=c_v\left[(n-k)/(n-1)\right](t_2-t_1) \qquad \textbf{(4.36)}$$

Энтропиянинг ўзгариши Δs эса қуйидагича аниқланади:

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{cdT}{T} = c_v \frac{n-k}{n-1}\frac{dT}{T}$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = \int_1^2 ds = c_v \frac{n-k}{n-1}\int_1^2 \frac{dT}{T}$$

$$\Delta s = c_v \frac{n-k}{n-1}\ln\frac{T_2}{T_1} \quad (4.37)$$

Политрон жараёнда энтальпиянинг ўзгариши:

$$h_2 - h_1 = c_p(t_2 - t_1) \quad (4.38)$$

Ts - диаграммада (4.6-расм) политроп жараён n нинг қийматига боғлиқ равишда турли хил эгри чизиқлар билан тасвирланади.

Политроп жараёнда ички энергия қандай ўзгаришини кўриб чиқайлик.

Изотермик жараёнда (n=1) ички энергия ўзгармайди, яъни u2 u1 Изобарик кенгайишда (n=0) ички энергия ортади. Изохорик жараёнда (n=-∞) иссиқлик келтирилганда ички энергия ортади.

Демак, изотермадан юқорида жойлашган барча кенгайиш жараёнлари, n<1 ва n>1бўлган сиқиш жараёнлари ички энергиянинг ортиши билан кечади.

Изотермадан пастда жойлашган политроп жараёнлар, n>1 да ва n<1 бўлган сиқиш жараёнлари ички энергиянинг камайиши билан кечади.

Политроп жараёнларда иссиқлик иппораси қандай ўзгаришини кўриб чиқайлик.

n кўрсаткичига q, Δu ва c инпораларининг боғлиқлиги.

4.3-жадвал.

Гуруҳ	n	Газларнинг кенгайиши		Газларнинг сиқилиши		c
		Δu	q	Δu[1]	q[1]	
Биринчи	0≤n≤1	Δu>0	q>0	Δu[1]<0	q[1]<0	c>0
Иккинчи	1<n≤k	Δu<0	q>0	Δu[1]>0	q[1]<0	c<0
Учинчи	k<n≤∞	Δu<0	q<0	Δu[1]>0	q[1]>0	c>0

Адиабатик жараёнда иссиқлик келтирилмайди ва олиб кетилмайди. Изотермик (n=1), изобарик (n=0) кенгайиш жараёнларида ва изохорик жараёнда (n=-∞) иссиқлик келтирилади.

Демак, адиабатадан юқорида жойлашган кенгайиш жараёнларида (k>n>-∞) ва ∞>n>k бўлган сиқиш жараёнларида ишчи жисмга иссиқлик келтирилади.

$\infty > n > k$ бўлган кенгайиш жараёнларида ва $-\infty < n < k$ бўлган сиқиш жараёнларида ишчи жисмдан иссиқлик олиб кетилади.

Адиабата ва изотерма орасида жойлашган жараёнларда иссиқлик сиғими манфий бўлади, чунки шу жараёнларда dq ва du лар ишораси ҳар хил.

Чунки $du=c_v\,dT$ дан, du нинг ишораси dT га боғлиқ ($du>0$; $dT>0$ ва $du<0$, $dT<0$).

У ҳолда иссиқлик сиғими ифодасидан ($c=dq/T$) кўриниб турибдики, ҳақиқатан ҳам унинг ишораси манфий. Бунинг моҳияти шундан иборатки, бундай жараёнларда ишчи жисмга иссиқлик келтирилганда унинг температураси пасаяди ва иссиқлик олиб кетилганда эса температура ортади. Юқоридаги текшириш натижаларини жадвал ҳолига келтириш мумкин (4.3-жадвал).

Назорат учун саволлар

1. Изохорик жараённинг диаграммалари.
2. Изохорик жараёнда иссиқлик миқдори қандай ўзгаради?
3. Изохорик жараёнда ички энергия қандай ўзгаради?
4. Изохорик жараёнда иш қандай аниқланади?
5. Изотермик жараёнда энтальпия нимага тенг?
6. Изотермик жараён pv- ва Ts- диаграммада қандай тасвирланади?
7. Изобарик жараён тенгламаси
8. Изобарик жараёнда энтальпия қандай аниқланади?
9. Адиабатик жараён тенгламаси.
10. Адиабата кўрсаткичи.
11. Политроп жараённинг диаграммалари.
12. Политроп жараёнда ички энергия қачон ортади?

БЕШИНЧИ БОБ

СУВ БУҒИ

5.1. Асосий тушунчалар

Сув буғи замонавий иссиқлик энергетикасининг асосий иш жисмидир. Ундан кўпчилик технологик жараёнларда ҳам фойдаланилади. Шунинг учун ҳам сув ва сув буғининг термодинамикавий хоссаларини текшириш катта аҳамиятга эга.

Жисмни суюқ ҳолатидан газ ҳолатига ўтиш жараёни буғ ҳосил бўлиш деб айтилади. Суюқликнинг фақат эркин сиртидан ва ҳар қандай температурада буғ ҳосил бўлиш жараёнига буғланиш дейилади.

Буғланишнинг моҳияти шундан иборатки, суюқлик сиртидаги тезлиги юқори, яъни кинетик энергияси катта бўлган молекулалар қўшни молекулаларнинг тортишиш кучларини енгиб суюқликдан атроф муҳитга учиб чиқадилар.

Буғланиш суюқликнинг табиатига ва температурасига боғлиқдир. Температура кўтарилиши билан буғланиш тезлиги ортади. Буғланиш жараёнида суюқликнинг температураси камаяди, чунки суюқликдан тезлиги юқори бўлган молекулаларнинг учиб чиқиши туфайли қолган молекулаларнинг ўртача энергияси пасаяди.

Суюқликка иссиқлик узатилганда унинг температураси кўтарилиб буғланиш жадаллашади. Суюқликнинг табиатига ва босимига мос температурада буғланиш суюқликнинг бутун ҳажми бўйича рўй беради.

Натижада жадал равишда буғ пуфакчалари идиш деворларига ҳамда суюқлик ҳажмида пайдо бўлади ва катталашиб суюқлик сиртига қалқиб чиқиб ёрилади. Бундай ҳодиса қайнаш дейилади. Қайнаш суюқлик сиртидаги босимга боғлиқ, яъни босим ортса, қайнаш температураси ҳам ортади ва аксинча.

Жисмни газ ҳолатидан суюқ ҳолатига ўтиши конденсация деб айтилади. Конденсация жараёни буғ ҳосил бўлиши каби ўзгармас температурада рўй беради. Буғнинг конденсацияланиши натижасида ҳосил бўлган суюқликка конденсат дейилади.

Қаттиқ жисмни бирданига буғ ҳолатига ўтиши сублимация дейилади. Буғнинг қаттиқ ҳолатга ўтиши эса десублимация дейилади.

Суюқлик сиртидан қанча молекула учиб чиқиб газ ҳолатига ўтса ва худди шунча молекула конденсацияланиб суюқлик ҳолатига қайтса, бундай ҳодиса тўйиниш ҳолати деб қабул қилинган, яъни буғ сув билан мувозанатда бўлади. Суюқлик билан динамик мувозанатдаги буғ тўйинган буғ дейилади. Суюқликнинг эркин сирти устидаги бўшлиқни тўйинтирадиган буғга нам буғ дейилади. Тўйинган нам буғда майда сув томчилари бўлади. Ҳосил қилинган нам буғга яна қўшимча иссиқлик миқдори уза-

тилса, унинг таркибидаги жуда майда сув томчилари буғ ҳолатига ўтади ва тўйинган қуруқ буғ ҳосил бўлади.

Нам буғдаги қуруқ тўйинган буғнинг массавий улушига буғнинг қуруқлик даражаси дейилади ва х ҳарфи билан белгиланади. Нам буғдаги суюқликнинг массавий улушига намлик даражаси дейилади ва у ҳарфи билан белгиланади ва у=1-х бўлиши табиий.

Тўйиниш температурасидаги қайнаётган суюқлик учун х=0, қуруқ тўйинган буғ учун эса х=1.

Демак, қуруқлик даражаси 0 дан 1 гача ўзгариши мумкин. Тўйинган қуруқ буғга ўзгармас босимда яна қўшимча иссиқлик миқдори узатилса, у ҳолда унинг температураси кўтарилади ва у ўта қиздирилган буғ ҳолатига ўтади.

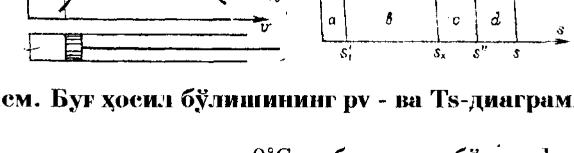
Ўта қиздирилган буғнинг температураси ва солиштирма ҳажми шу босимдаги қуруқ тўйинган буғникидан юқори бўлади. Ўта қиздирилган буғни суюқлик сиртида олиб бўлмайди. Ўта қиздирилган буғ ва қуруқ тўйинган буғнинг шу босимдаги температуралар фарқига қиздириш даражаси деб айтилади.

Ўта қиздирилган буғ тўйинмаган бўлади, чунки унинг шу босимдаги солиштирма ҳажми қуруқ тўйинган буғникидан юқори, зичлиги эса кам бўлади.

Ўта қизиган буғ ўзининг физикавий хоссалари бўйича газларга яқинлашади.

5.2. Сув буғининг pv - диаграммаси

Сув буғининг pv - диаграммасини кўриб чиқамиз (5.1-расм).



5.1-расм. Буғ ҳосил бўлишининг pv - ва Ts-диаграммалари

Цилиндрда температураси 0°С ва босими p_1 бўлган 1 кг сув турган бўлсин (pV - диаграммада 1-нуқта). Сувга иссиқлик узатиш натижасида у исийди ва кенгаяди. Жараён босими p_1 га мос бўлган қайнаш температураси $t=t_1$ да сув қайнайди ва буғ ҳосил бўлиш бошланади (2-нуқта).

Сув ва буғнинг ҳолатларининг ўзгаришини pv- ва Ts - диаграммаларда белгилаб борамиз.

Ўта қизиган буғни p=const да ҳосил бўлиш жараёни кетма - кет келадиган учта физик жараёндан иборат:

1) Суюқликни тўйиниш температурасигача (tT) иситиш;

2) tT = const да буғ ҳосил бўлиши;

3) буғни ўта қиздириш ва бунинг натижасида унинг темпе-ратурасини кўтарилиши.

2-нуқтада поршен остида 1-фазали тизим, яъни сув бўлади. Ташқаридан бериладиган иссиқлик миқдори ортиб борган сайин температура ўзгармайди, буғнинг миқдори ортиб, сувники камаяди (3-нуқтагача).

2-3 жараёнда қуруқ буғ ва суюқликдан иборат нам тўйинган буғ ҳосил бўлади. Шу жараёнда поршен остида икки фазали тизим (сув + буғ) бўлади. Ҳажмдаги ҳамма сув миқдори 3-нуқтада тўла газ ҳолатига ўтади, яъни тўйинган қуруқ буғ ҳосил бўлади. Жадал буғланиш ўзгармас босим (p1=const) остида содир бўлганда юқоридаги жараён ҳам изобарик, ҳам изотермик бўлади.

Маълумки, нам тўйинган буғнинг асосий тавсифи унинг қуруқлик даражасидир (x). Кўриниб турибдики, 2-нуқтада x=0, 3-нуқтада x=1 га тенг.

Агар қуруқ тўйинган буғга (3-нуқта) иссиқлик келтириш давом эттирилса, у ҳолда унинг солиштирма ҳажми ва температураси ортади. Буғ 3-нуқтадан ўнг томонда ўта қиздирилган буғ ҳолатига ўтади.

Агар буғ ҳосил бўлиш жараёни юқорироқ босимда ($p_2>p_1$) олиб борилса, у ҳолда сув ҳажми деярли ўзгармайди, қайнаётган сув ҳажми ортади, қуруқ тўйинган буғнинг ҳажми эса камаяди.

Демак босим ортган сари pv - диаграммадаги 1-2 қисм орта боради, 2-3 қисм эса камая боради. Қуруқ буғ-бу реал газдир. p2 босимда унинг солиштирма ҳажми кам бўлиб, 3`-нуқта 3-нуқтадан чапроқда жойлашади. Қуруқ буғнинг ҳажмини ўзгариши температура ўзгаришига қараганда босим ўзгарганда кўпроқ ўзгаради.

Масалан, босим 0,1 МПа бўлганда буғниг температураси Тт=372,79 К; босим 4 МПа бўлганда эса Тт=523,48 К бўлади. Яъни температура ортиши ҳажмни 1,4 марта орттирса, босим ортиши эса ҳажмни 40 марта камайтиради.

Критик босимда 2 ва 3 нуқталар устма-уст тушади. Шу нуқта критик нуқта деб айтилади ва К ҳарфи билан белгиланади. Шу нуқта модданинг критик ҳолатига мос келиб, унда суюқлик ва газ ўртасидаги фарқ йўқолади. Шу нуқтадаги модда параметрлари критик параметрлар деб айтилади.

Масалан, сув учун $p_к$=22,1145 МПа, $T_к$=647,266 К ва $v_к$=0,003147 $м^3$/кг; симоб учун $p_к$=100 МПа, $T_к$=1673 К; аммиак учун $p_к$=10,99 МПа ва $T_к$=406 К; CO_2 учун $p_к$=7,32 МПа, $T_к$=304,5 К.

Критик температура буғнинг максимал тўйиниш температураси бўлади. Критик температурадан юқорида фақат ўта қизиган буғлар ва газ-

лар бўлиши мумкин. Критик температура ҳақидаги тушунчани 1860 йили Д.И. Менделеев берди.

Бу температура шундай температураки, ундан юқори температурада (босим қандай бўлишидан қатъий назар) газни суюқликка айлантириб бўлмайди.

pv - диаграммадаги 1,2 ва 3 - нуқталарни бирлаштириб, учта чизиқ оламиз: I - 0°C даги сув учун;

II - тўйиниш температурасидаги сув учун (пастки чегара чи-зиғи). III - қуруқ тўйинган буғ учун (юқори чегара чизиғи). Бу эгри чизиқлар диаграммани қуйидаги соҳаларга бўлади: I ва II чизиқлар орасида суюқлик бўлади; II ва III чизиқлар орасида нам тўйинган буғ бўлади ва III чизиқдан ўнгроқда ўта қизиган буғ бўлади.

Сув ва қуруқ тўйинган буғнинг тўйиниш чизиғидаги параметрлари босим ёки температурага боғлиқ равишда жадваллардан аниқланса, ўта қизиган буғнинг параметрлари эса босим ва температурага боғлиқ равишда жадваллардан аниқланади.

Ts - диаграммада суюқлик, нам тўйинган буғ ва ўта қизиган буғ соҳалари ва тегишлича жараёнлар тасвирланган. Диаграммадаги юзалар сувнинг қайнаш температурасидаги энтальпиясини h_1(а юза), нам тўйинган буғ энтальпиясини hx(а+в юза), қуруқ тўйинган буғ эн-тальпиясини hII(а+в+с юза), ўта қизиган буғ энтальпиясини h(а+в+с+d юза) ифодалайди. (в+с) -юза буғ хосил қилиш иссиқлигига r, яъни, қайнаш температурасидаги 1 кг суюқликни буғга айлантириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорига тенг.

5.3. Суюқлик ва қуруқ тўйинган буғнинг асосий параметрлари. Буғ хосил қилиш иссиқлиги

Сувнинг 0°C температура ва турли босимлардаги солиштирма ҳажми $v_0 \approx 0{,}001$ м³/кг га тенг.

Қайнаётган сувнинг солиштирма ҳажми v` босим ва темпера-тура кўтарилиши билан ортади, айниқса юқори босимларда 0°C тем-пературадаги солиштирма ҳажмидан анча фарқ қилади. Масалан, p=50 бар да v_1=0,0012859 м³/кг; p=220 бар да v_1=0,00269 м³/кг. 1 кг сув-ни 0°C температурадан қайнаш температурасигача иситиш учун (мос босимда) зарур бўлган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$q = h^1 - h^1_0 \qquad (5.1)$$

бу ерда h^1 - қайнаётган сув энтальпияси; h^1_0 - сувнинг 0°C даги энтальпияси;

Қайнаётган суюқлик энтальпияси босим ёки температура бўйича аниқланиб, тўйинган сув буғлари жадвалларидан олинади.

Қайнаётган суюқликнинг ички энергияси u^I энтальпия форму-ласидан аниқланади:

$$h=u+pv \quad \text{ёки} \quad u^I=h^I-pv^I \qquad (5.2)$$

Қайнаш температурасигача иситилган сувга иссиқлик бериш давом эттирилса, у буғга айлана бошлайди. Буғ ҳосил бўлиш жараёнида сувнинг охирги томчиси буғга айланмагунча температура ўзгармасдан туради. Шу охирги ҳолатда қуруқ тўйинган буғ ҳосил бўлади.

Юқорида айтилганидек, 1 кг қайнаётган сувни қуруқ тўйинган буғга айлантириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорига буғ ҳосил қилиш иссиқлиги дейилади ва r ҳарфи билан белгиланади.

Буғ ҳосил қилиш иссиқлиги босим ёки температура билан аниқланади. Уларни ортиши билан r камаяди ва критик нуқтада нолга тенг бўлади.

Буғ ҳосил қилиш иссиқлиги ички потенциал энергияни ўзга-ришига ёки ажратиш (дисрегация) иши r ва ташқи кенгайиш ишига $\rho(v^{II}-v^I)=\psi$ сарфланади. ρ катталик ички, Ψ - катталик эса ташқи буғ ҳосил қилиш иссиқлиги деб айтилади.

Буғ ҳосил қилиш иссиқлиги қуйидагига тенг:

$$r=\rho+\rho\left(v^{II}-v^{I}\right)=\rho+\psi \qquad (5.3)$$

Қуруқ тўйинган буғнинг энтальпияси h^{II} қуйидаги формуладан аниқланади:

$$h^{II}=h^{I}+r \qquad (5.4)$$

Қуруқ тўйинган буғнинг ички энергияси:

$$u^{II}=h^{II}-pv^{II} \qquad (5.5)$$

Қуруқ тўйинган буғ фақат бир параметр: босим ёки температура билан аниқланади.

Юқоридаги катталиклар: h^{II}, h^I, r, v``, v` сув буғи жадвалларидан олинади.

5.4. Нам тўйинган сув буғининг асосий параметрлари

Нам буғ босим p ёки температура t_T ва қуруқлик даражаси x билан аниқланади.

Нам буғнинг температураси мазкур босимдаги суюқликнинг қайнаш температурасига тенг. Нам буғнинг солиштирма ҳажми v_x қуруқ буғ ва сувдан иборат аралашманинг ҳажми каби аниқланади:

$$v_x=v^{II}x+(1-x)v^I \qquad (5.6)$$

Қозон агрегатларида буғнинг қуруқлик даражаси 0,90-0,96 га тенг бўлади. Шу сабабли сув ҳажмини аниқловчи ҳад (1-x) $v^I \approx 0$ га тенг бўлади. У ҳолда

$$v_x \approx v^{II}x \qquad (5.7)$$

Нам буғнинг энтальпияси қуйидаги формуладан аниқланади:

$$h_x = h^I + r_x \qquad (5.8)$$

бу ерда h^I - суюқлик энтальпияси;

r_x - сувни буғлатиш учун сарфланган иссиқлик миқдори.

Нам буғнинг ички энергияси:

$$u_x = h_x - pv_x \qquad (5.9)$$

5.5. Ўта қизиган буғнинг асосий параметрлари.

Мазкур босимда қуруқ тўйинган буғга қараганда температураси юқори бўлган буғга ўта қизиган буғ дейилади. Ўта қиздирилган буғ махсус қурилма - буғ қиздиргичларда нам буғдан унга маълум бир иссиқлик миқдори узатиш йўли билан олинади.

1 кг қуруқ буғни ўзгармас босимда керакли температурагача қиздириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдорига ўта қиздириш иссиқлиги деб айтилади.

Буғ қиздиргичда нам буғ аввало қуруқ, кейин ўта қизиган буғ ҳолатига ўтади. Буғ қиздиргичдаги босим ўзгармас ва қозондаги босимга тенг қилиб олинади.

Ўта қизиган буғларнинг хоссалари газлар хоссаларига яқинлашади. Қиздириш жараёнида узатилган иссиқлик миқдорини қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$q_{\text{қ}} = \int_{t_T}^{t} c_p dt \quad \text{ёки} \quad q_{\text{қ}} = c_{pm} \Big|_{t_T}^{t} (t - t_T) \qquad (5.10)$$

бу ерда c_p - ўта қиздирилган буғнинг p=const даги ҳақиқий иссиқлик сиғими;

c_{pm} - ўта қизиган буғнинг t_T дан t гача оралиқдаги ўртача иссиқлик сиғими.

Буғга ўзгармас босимда узатилаётган қиздириш иссиқлиги $q_{\text{қ}}$ фақат энтальпиянинг ўзгаришига сарфланганидан учун, ўта қиздирилган буғнинг энтальпияси қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$h = h' + r + c_{pm}\int_{t_r}^{t} dT \qquad (5.11)$$

Ўта қиздирилган буғнинг ички энергияси:

$$u = h - pv \qquad (5.12)$$

Бу ерда v- ўта қизиган буғнинг солиштирма ҳажми. Ўта қизиган буғнинг энтальпия, энтропия ва солиштирма ҳажми сув буғи жадвалларидан олинади.

5.6. Сув ва сув буғининг энтропияси

Қайтар жараёнлар учун энтропиянинг ўзгариши тенгламаси:

$$ds = dq/T \qquad (5.13)$$

Сув учун $dq = c_{pc}\,dT$ ва $ds = c_{pc}\,dT/T$

Сув учун массавий изобар иссиқлик сиғимини срс=4,19 кЖ/(кг·К)=const деб ҳисоблаймиз. Шунинг учун охирги тенгламани 273,16 К дан сувнинг қайнаш температураси Тт гача интеграллаб, ҳамда сувни 273,16 К даги энтропиясини нолга яқин деб, сув учун қайнаш температурасидаги энтропияни аниқлаймиз:

$$\Delta s = s' - s'_0 = s\int_{273,16}^{T_r} \frac{dq}{T} = \int_{273,16}^{T_r} c_{pc}\frac{dT}{T} \approx 4,19\ln\frac{T_н}{273,16} \qquad (5.14)$$

Қуруқ тўйинган буғ учун энтропиянинг ўзгариши қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\Delta s = s'' - s' = r / T_r \quad \text{ёки}$$

$$s'' = s' + r / T_r \qquad (5.15)$$

Нам тўйинган буғ учун:

$$\Delta s_x = s_x - s' = rx / T_r \quad \text{ёки}$$

$$s_x = s' + rx / T_r = 4,19\ln T_r/273 + rx / T_r \qquad (5.16)$$

Қиздириш жараёнида энтропияни T_T дан Т гача ўзгариши қуйидагича аниқланади:

$$\Delta s = s - s'' = \int_{T_r}^{T} \frac{dq_{\text{қиз}}}{T} = \int_{T_r}^{T} \frac{c_{pm}dT}{T} = c_{pm}\ln\frac{T}{T_r}$$

у ҳолда

$$s = 4,19\ln\frac{T_r}{273} + \frac{r}{T_r} + c_{pm}\ln\frac{T}{T_r} \qquad (5.17)$$

Сув, қуруқ ва ўта қизиган буғнинг энтропиясини сув буғи жадвалларидан олинади.

5.7. Сув буғининг жадвали

Ўта қизиган буғ ва айниқса тўйинган буғ ўзининг хоссалари бўйича идеал газлардан кескин фарқ қилади. Буғларнинг ҳолат тенгламалари ниҳоятда мураккаб ва деярли амалиётда қўлланилмайди.

Илгари айтиб ўтилганидек, жисмга берилган ёки ундан олинган иссиқлик миқдори энтропия аниқланадиган Ts-диаграммада жараён эгри чизиғининг остидаги юза билан тасвирланади. Шу сабабли келтирилган ёки олиб кетилган иссиқлик миқдорини аниқлаш учун ҳар гал бу катталикларни тегишли юзаларини ҳисоблаб чиқиб топишга тўғри келади, бу эса амалда тез ва аниқ ҳисоблашни қийинлаштиради. Агар энтропия диаграммасининг ординаталари ўқига температу-ра ўрнига h қийматлари қўйилса, у ҳолда s=const бўлгандаги иш ва p=const бўлгандаги иссиқлик миқдори шу диаграммада юзалар билан эмас, балки чизиқ кесмалари билан тасвирланади.

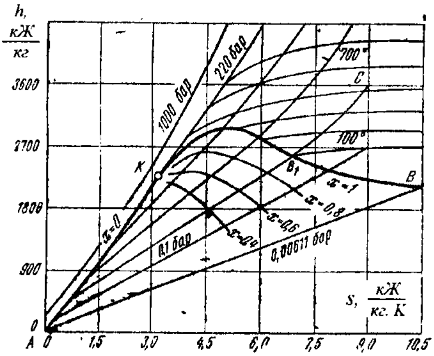
20 ат гача босимда сув буғи учун биринчи hs -диаграммани 1904 йилда Молье таклиф этган эди. hs -диаграмманинг пайдо бўлиши буғ жараёнлари ва циклларини термодинамикавий текшириш ва ҳисоблаш услубларини анча соддалаштирди.

Ҳозирги вақтда Москва Энергетика институти томонидан профессор М.П. Вукалович раҳбарлигида ишлаб чиқилган сув буғи жадваллари ва диаграммаларидан фойдаланилади. Бу жадваллар ўта қизи-ган ва тўйинган буғлар учун 1000°С температурагача ва 980 бар босимгача юқори аниқликда тузилган.

Тўйинган буғ жадвалларида тўйиниш температураси, босим, солиштирма ҳажм, суюқлик ва қуруқ буғнинг энтальпия ва энтропияси, буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги келтирилган. Ўта қизиган буғ жадвалларида турли босим ва температура учун асосий параметрлар: солиштирма ҳажм, энтальпия, ва энтропиянинг қийматлари келтирилган.

5.8. Сув буғининг hs-диаграммаси

5.2-расмда сув буғининг hs-диаграммаси тасвирланган. Юқо-рида айтиб ўтилган эдики, 273°К (0°С) температурадаги энтропия ва энтальпия шартли равишда нолга тенг деб ҳисобланади. Бу ҳолат hs-диаграммада координаталар боши билан тасвирланади.



5.2-расм. Сув буғининг hs - диаграммаси

Диаграммада иккита чегара эгри чизиқ чизилган, улар критик нуқта K да бир-бирига қўшилиб кетади. Пастки чегара эгри чизиқ (x=0) да сувнинг қайнаш температурасидаги турли ҳолатлар учун энтальпия h^1 ва энтропия s^1 нинг қийматлари қўйилган. Юқориги эгри чизиқ (x=1) да қайнаш температурасидаги тўйинган қуруқ буғнинг турли ҳолатлари учун h^{II} ва s^{II} нинг қийматлари қўйилган.

Чегара эгри чизиқлар hs-диаграммани икки соҳага бўлади. Бу эгри чизиқлардан юқорида ўта қизиган буғ соҳаси, пастда эса тўйинган нам буғ соҳаси жойлашади.

Тўйиниш соҳасидаги изобарлар тўплами ноль нуқтадан бош-ланадиган ва тармоқланиб кетадиган тўғри чизиқлар тўпламидан иборат. Босим қанчалик катта бўлса, изобаралар ҳам шунчалик юқорида жойлашади.

Буғ ҳосил бўлиш жараёни ўзгармас температурада борганлиги сабабли тўйиниш соҳасида изобаралар бир вақтнинг ўзида изотерма-лар бўлиб ҳисобланади. Ўта қизиган буғ соҳасида, юқоридаги чегара эгри чизиқда изобара ва изотермалар бир-биридан ажралади. Изобара-лар чап томонга изотермалар эса ўнг томонга оғади. Нам тўйинган буғ соҳасида буғнинг қуруқлик даражаси чизиқлари (x=const) чизилади ва улар критик нуқта K да кесишади.

hs-диаграммага изохоралар - ўзгармас солиштирма ҳажм (v=const) чизиқлари ҳам чизилади. Бу чизиқлар (5.2-расмда кўрсатилмаган) изобараларга нисбатан тикроқ кетади. Қайтар адиабат жа-раёнлар hs-диаграммада вертикал чизиқлар билан тасвирланган. Шунинг учун барча вертикал чизиқлар hs-диаграммада адиабатадан иборатдир. Ҳозирги вақтда буғларнинг иссиқлик жараёнларини ҳисоб-лашда hs-диаграмма ва сув буғи жадвалларидан фойдаланилади.

5.9. Сув буғи ҳолатининг ўзгаришидаги асосий термодинамик жараёнлар

Сув буғи ҳолатининг ўзгаришидаги термодинамик жараёнлар-ни ҳисоблашда сув ва сув буғи жадвалларидан ёки hs-диаграммадан фойдаланилади.

Бу масалаларни ечишда буғнинг бошланғич ва охирги параметрлари, ички энергиянинг ўзгариши, энтальпия ва энтропия, қуруқлик даражаси, иш ва иссиқлик миқдори аниқланади.

hs-диаграмма бўйича ҳисоблашни умумий усули қуйидагича: келтирилган параметрлар бўйича буғнинг бошланғич ҳолати аниқланади. Жараён чизиғи чизилиб, буғнинг охирги ҳолатдаги параметрлари аниқланади.

Ички энергиянинг ўзгариши қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланади:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1) \qquad (5.18)$$

Иссиқлик миқдори аниқланади:

Изохорик жараёнда

$$q_v = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1) =$$
$$= h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1); \qquad (5.19)$$

Изобарик жараёнда:

$$q_p = h_2 - h_1 \qquad (5.20)$$

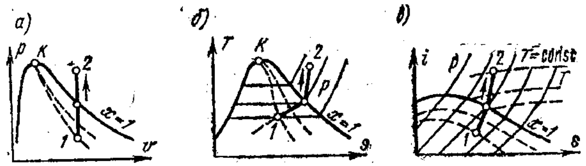
Изотермик жараёнда:

$$q_T = T(s_2 - s_1) \qquad (5.21)$$

Бажарилган иш барча жараёнлар учун умумий бўлган қуйидаги тенгламадан ҳисобланади:

$$A = q - \Delta u \qquad (5.22)$$

Изохорик жараён (5.3-расм)



5.3-расм.

Изохорик жараёнда нам тўйинган буғга иссиқлик келтирилиши натижасида унинг босими ва температураси кўтарилади. v=const да буғнинг қуруқлик даражаси ортиши ҳам, камайиши ҳам мумкин.

Агар буғнинг бошланғич ҳолати x=0 эгри чизиққа яқин бўлса, температура камайиши билан v=const да унинг қуруқлик даражаси ортади. Агар буғнинг бошланғич ҳолати x=1 эгри чизиққа яқин бўлса, температура камайиши билан v=const да қуруқлик даражаси камаяди.

Изохорик жараёнда ташқи иш нолга тенг. Келтирилган иссиқлик буғнинг ички энергиясини ўзгаришига сарфланади:

$$u_2 - u_1 = h_2 - h_1 - v(p_2 - p_1) \qquad (5.23)$$

Агар жараённинг солиштирма ҳажми v қуруқ тўйинган буғнинг v^{II} охирги ҳолатдаги солиштирма ҳажмидан кичик бўлса $v<v^{II}$, у ҳолда жараён охирида буғ нам тўйинган буғ бўлади, агар $v>v^{II}$ бўлса, у ҳолда ўта қизиган буғ ҳолатида бўлади.

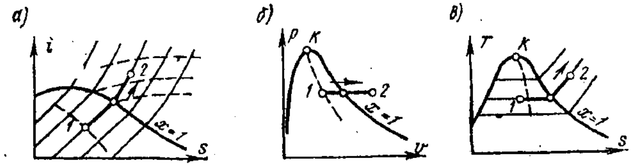
Нам тўйинган буғнинг қуруқлик даражасини қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$v_x = (1-x)v' + v''x \quad дан \quad x = (v_x - v')/(v'' - v') \qquad (5.24)$$

pv-диаграммада изохорик жараён ордината ўқига параллел чизиқдан иборат, Ts-диаграммада эса эгри чизиқдан иборат. Нам тўйинган буғ соҳасида изохоранинг эгрилиги юқорига, ўта қизиган буғ соҳасида эса, эгрилиги пастга йўналган.

hs-диаграммада изохоранинг эгрилиги пастга йўналган бўлади (5.3-расм).

Изобарик жараён (5.4-расм)



5.4-расм.

hs-диаграммада изобара тўйинган буғ соҳасида суюқлик ва буғнинг чегара чизиқларини кесиб ўтадиган тўғри чизиқдан иборат. Нам буғга иссиқлик келтирилганда унинг қуруқлик даражаси ортиб қуруқ, яна иссиқлик келтирилса (T=const) ўта қизиган буғга айлана-ди.

Изобара ўта қизиган буғ соҳасида (5.4-расм, а) эгрилиги пастга қараган эгри чизиқдан иборат.

pv-диаграммада изобарик жараён горизонтал чизиқдан иборат бўлиб, нам буғ соҳасида изотермик жараённи ҳам тасвирлайди (5.4-расм, б).

Ts-диаграммада (5.4-расм, в) нам буғ соҳасида изобара гори-зонтал чизиқдан иборат, ўта қизиган буғ соҳасида эса, эгрилиги паст-га қараган эгри чизиқдан иборат.

Керак бўладиган барча катталиклар қиймати тўйинган ва ўта қизиган буғ жадвалларидан олинади.

Ички энергиянинг ўзгариши:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = h_2 - h_1 - p(v_2 - v_1); \qquad (5.25)$$

бажарилган иш:

$$A = p(v_2 - v_1) = q - \Delta u \qquad (5.26)$$

келтирилган иссиқлик миқдори:

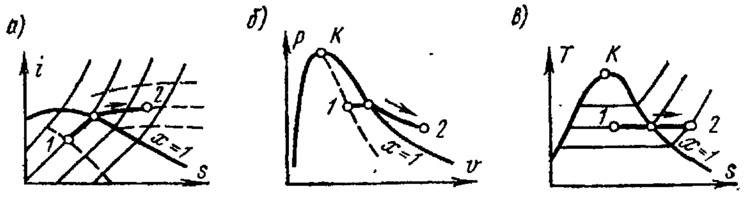
$$q = h_2 - h_1 \qquad (5.27)$$

Агарда q катталик берилган бўлиб, иккинчи нуқтанинг пара-метрлари аниқланиши лозим бўлса, нам буғнинг энтальпиясини ҳи-соблаш формуласидан фойдаланилади:

$$h_2 = h_2^1 + r_2 x_2 \qquad (5.28)$$

Шу формуладан қуруқлик даражаси x2 аниқланиб, у орқали қолган параметрлар аниқланади.

Изотермик жараён (5.5-расм).



5.5-расм.

hs-диаграммада нам буғ соҳасида изотерма изобара билан бир хил бўлиб, у тўғри чизиқдан иборат. Ўта қизиган буғ соҳасида изо-терма эгрилиги юқорига йўналган эгри чизиқдан иборат. (5.5-расм, а)

pv-диаграммада нам буғ соҳасида изотермик жараён горизон-тал чизиқ билан тасвирланади (5.5-расм,б). Тўйинган буғ учун бу жа-раён изобарик жараён билан бир хил бўлади. Ўта қиздирилган буғ соҳасида буғнинг босими камаяди ва жараён эгрилиги абцисса ўқига йўналган эгри чизиқ билан тасвирланади.

Ts-диаграммада (5.5-расм, в) изотермик жараён горизонталдан иборат.

Буғнинг ички энергиясининг ўзгариши идеал газнинг ички энергияси ўзгаришидан фарқ қилиб T=const да қуйидагича бўлади:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1) \qquad \textbf{(5.29)}$$

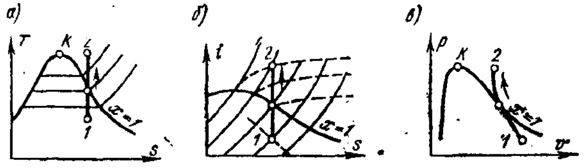
Иссиқлик миқдори:

$$q = T(s_2 - s_1) \qquad \textbf{(5.30)}$$

бажарилган иш:

$$A = q - \Delta u \qquad \textbf{(5.31)}$$

Адиабатик жараён (5.6-расм).



5.6-расм.

Адиабатик жараёнда s=const бўлганлиги сабабли, hs ва Ts диаграммаларда адиабата ординаталар ўқига параллел тўғри чизиқ билан тасвирланади(5.6-расм а,б).

Адиабатик кенгайишда буғнинг босими ва температураси ка-маяди; ўта қизиган буғ қуруқ тўйинган буғга ва кейин нам тўйинган буғга айланади.

s=const бўлгани учун, буғнинг охирги параметрларини аниқ-лаш учун буғнинг бошланғич ва ҳеч бўлмаганда охирги ҳолатининг битта параметрини билиш зарур. pv-диаграммада адиабатик жараён (5.6-расм, в) эгри чизиқ билан тасвирланади.

Адиабатик жараёнда бажарилган иш қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$A = u_1 - u_2 = (h_1 - p_1 v_1) - (h_2 - p_2 v_2) \qquad \textbf{(5.32)}$$

Ички энергиянинг ўзгариши:

$$\Delta u = (h_2 - p_2 v_2) - (h_1 - p_1 v_1) \qquad \textbf{(5.33)}$$

Назорат учун саволлар

1. Фазавий ўтиш нима?
2. Буғланиш деб нимага айтилади?
3. Қайнаш деб нимага айтилади?
4. Қандай буғга тўйинган буғ деб айтилади?
5. Қуруқлик даражаси нимани билдиради?
6. Буғ ҳосил бўлишининг pv - диаграммасини тушунтиринг.
7. Критик нуктанинг моҳияти нимадан иборат?
8. Буғ ҳосил қилиш иссиқлигининг аҳамияти нимадан иборат?
9. Нам тўйинган буғнинг асосий параметрлари.
10. Сув буғининг энтропияси қандай аниқланади?
11. Сув буғининг hs - диаграммасидан қандай фойдаланилади?

ОЛТИНЧИ БОБ

НАМ ҲАВО

6.1. Асосий тушунчалар

Кислород, азот, карбонат ангидрид ва оз миқдордаги инерт газлардан (аргон, неон, гелий, ксенон, криптон) иборат бўлган атмо-сфера ҳавоси таркибида қандайдир миқдорда сув буғлари бўлади.

Қуруқ ҳаво билан сув буғи аралашмаси нам ҳаво деб айтилади. Нам ҳаво техникада, аввало, қуритиш жараёнларида кенг қўлланилади. Нам ҳаво газлар аралашмасининг хусусий холларидан биридир.

Дальтон қонунига мувофиқ, газлар аралашмасидаги ҳар бир газ ўзини шу аралашма температурасида аралашманинг бутун ҳажмини эгаллагандек тутади, бошқача қилиб айтганда, газлар аралашмасидаги газларнинг парциал босимлари йиғиндиси шу аралашманинг уму-мий босимига тенг. Қуруқ ҳавонинг парциал босимини р ҳаво билан, сув буғининг парциал босимини рб ва аралашманинг яъни нам буғнинг босимини р билан белгилаб, Дальтон қонунига мувофиқ қуйидагини оламиз:

$$p=p_{ҳаво}+p_б \qquad (6.1)$$

Одатда нам буғ босими атмосфера босими (В) га тенг бўлгани учун қуйидагича ёзиш мумкин:

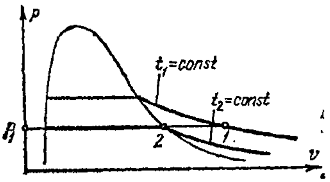
$$B=p_{ҳаво}+p_б \qquad (6.2)$$

Буғ - ҳаво аралашмасида сув буғи қанчалик кўп бўлса, аралашмада сув буғининг парциал босими шунчалик юқори бўлади.

Нам ҳаводаги сув буғининг парциал босими $p_б$, нам ҳавонинг мазкур температурадаги тўйиниш босимидан (p_s) юқори бўла олмайди, яъни

$$p_б \le p_s \qquad (6.3)$$

Нам ҳаводаги сув буғининг максимал парциал босими p_s аралашма босими р га боғлиқ бўлмай, фақат аралашма температураси-га боғлиқ.



6.1-расм.

$p_б<p_s$ бўлган нам ҳавони тўйинмаган, $p_б=p_s$ бўлган нам ҳавони эса тўйинган нам ҳаво деб атаймиз. Тўйинмаган нам ҳаводаги сув буғи ўта қизиган ҳолатда туради.

Агар тўйинмаган нам ҳаво темпе-

ратурасини босимни ўзгар-тирмай пасайтирсак, тўйиниш ҳолатига эришиш мумкин (6.1-расм).

Бунда бошланғич температураси t_1 бўлган (6.1-расмда 1-нуқта) ўта қизиган сув буғи t_2 температурагача совитилади;

Бу температурага тўйиниш ҳолати (2-нуқта) мос келади, тем-пература янада пасайтирилса, ҳаводан нам тушади ҳамда буғнинг пар-циал босими камаяди. Бундай ҳодисага кундалик турмушда кўп дуч келамиз: атмосфера ҳавосида ҳар доим сув буғининг маълум миқдори бўлгани учун температура пасайганда ҳаво, кўпинча тўйинган бўлади, туман ва шудринг тушиши шу ҳақда гувоҳлик беради.

Шунинг учун $p_б$ босим p_s босимга тенг бўладиган температура шудринг нуқтаси деб айтилади (tш).

Нам ҳаводаги намнинг массавий миқдори mб нинг қуруқ ҳаво-нинг массавий миқдори mҳ га нисбатини ҳавонинг нам сақлами d деб атаймиз:

$$d=m_б/m_x;\ \text{ёки}\ d=\rho_б/\rho_x \qquad (6.4)$$

Бинобарин, d 1кг қуруқ ҳавога ёки (1+d) кг нам ҳавога тўғри келадиган нам массасидан (килограмм ҳисобида) иборат.

Нам сақлами d ни қуйидагича аниқлаш мумкин. 1кг қуруқ ҳаво ва нам ҳаво ҳажми V даги сув буғи учун ҳолат тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$p_xV=m_xR_xT\ \text{ва}\ p_бV=m_бR_бT$$

Ҳадма - ҳад бўламиз:

$$p_x/p_б=m_xR_x/m_бR_б=(m_x\cdot 287{,}04)/(m_б\cdot 461{,}6)=0{,}622/d \qquad (6.5)$$

(6.5) тенгламага (6.1) -тенгламадан px қийматни қўйсак, нам сақламини аниқлаймиз:

$$d=0{,}622\ p_б/(p-p_б) \qquad (6.6)$$

(6.6) тенгламадан кўриниб турибдики, буғнинг парциал боси-ми рб ортиши билан нам сақлами d кўпаяди.

Нам ҳавонинг берилган температурасида унинг бўлиши мумкин бўлган максимал нам сақламини юқоридаги тенгламалардан аниқлаш мумкин, лекин бунда парциал босим $p_б$ ўрнига, унинг максимал қиймати, яъни шу температурадаги тўйиниш босими p_s ни қўйиш керак. У вақтда

$$d_s=0{,}642\ p_s/(p-p_s) \qquad (6.7)$$

Бу муносабатлардан кўриниб турибдики, максимал нам сақлами, биринчидан, нам ҳаво босими (барометрик босим В) нинг қийматига, иккинчидан нам ҳаво температурасига боғлиқ, чунки ps катталик температуранинг қийматига боғлиқ.

Сув буғининг тўйиниш босими барометрик босимга тенг бўлганда ds чексизликка айланади, бу ҳолда нам ҳаво қуруқ тўйинган ёки ўта қизиган сув буғидан иборат бўлади.

Нам ҳавони тасвирлашда қулай бўладиган яна бир тушунча - нисбий намлик тушунчасини киритамиз. Нисбий намлик деб, нам ҳаводаги сув буғи парциал босимининг сув буғининг мазкур температурадаги тўйиниш босимига (яъни сув буғининг шу температурада бўлиши мумкин бўлган максимал парциал босимига) нисбати нисбий намлик деб айтилади;

$$\phi = p_б / p_s$$

Нисбий намлик, одатда фоиз ҳисобида ифодаланади. $p \leq p_б < p_s$ бўлгани учун $0 \leq \phi \leq 100$ % бўлади.

Қуруқ ҳаво учун $\phi = 0$, тўйинган ҳаво учун $\phi = 100$ % бўлади. Атмосфера босимида тўйинган ҳаводаги сув буғининг парциал босими паст бўлганлиги туфайли, сув буғини идеал газ деб ҳисоблаб, Бойль - Мариотт қонунига асосан $p_б/p_s$ нисбатни $\rho_б/\rho_s$ нисбат билан алмаштирамиз:

$$\phi = \rho_б / \rho_s \qquad (6.9)$$

Бу ҳолда ҳисоблашдаги хато 2% дан ошмайди. Аниқ ҳисоблар учун (6.8) формуладан фойдаланиш керак.

Нисбий намлик тушунчасидан ташқари баъзан абсолют намлик тушунчасидан ҳам фойдаланилади. Абсолют намлик деганда нам ҳаводаги сув буғининг, одатда симоб устунининг миллиметри билан ўлчанадиган баландлиги ҳисобида ифодаланадиган парциал босими ps катталиги тушунилади. Баъзан бир куб метр нам ҳаводаги грамм билан ифодаланадиган сув буғи массаси абсолют намлик деб айтилади.

(6.7) ва (6.8) тенгламадан нам сақлами билан нисбий намлик ўртасидаги боғланишни ифодаловчи формулани келтириб чиқариш мумкин:

$$\phi = [d/(0,622 + d)](p_б / p_S) \qquad (6.10)$$

Демак, $p_б = p_s$ бўлганда ϕ фақат d га боғлиқ бўлиб, d=const да у ўзгармайди.

Ҳаводаги буғнинг ҳолатини аниқлаш учун унинг температурасини ва парциал босимини билиш лозим. Ҳаводаги буғнинг температураси нам ҳаво температураси билан бир хил бўлганлиги туфайли уни термометр билан аниқлаш мумкин. Буғнинг парциал босимини аниқлаш учун гигро-

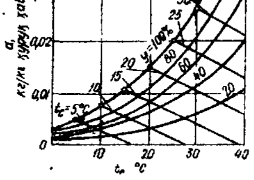
метрлардан фойдаланилади. Шу икки асбоб ёрдамида шудринг нуқтаси температураси tш аниқланади.

Шудринг нуқтасини билган ҳолда, сув буғи жадвалларидан tш га мос парциал босим аниқланади. Гигрометрларнинг кўп турлари мавжуд. Ҳозир асосан Аллюора ва Грове гигрометри қўлланилади.

Бу асбобда силлиқланган идишда жойлашган ҳаво эфир буғланиши ҳисобига совийди. Шу сиртда шудринг пайдо бўлиши tш га эришилганини кўрсатади. Юқоридаги усул билан парциал босимни аниқлаш тахминий бўлади, чунки шудрингни пайдо бўлишини аниқ белгилаш қийиндир.

Шунинг учун ҳавонинг нисбий намлигини ва демак буғнинг парциал босимини аниқ ҳисоблаш учун психрометрдан фойдаланила-ди.

Психрометр иккита симобли термометрдан - қуруқ ва хўл деб айтиладиган термометрдан иборат. Ҳўл термометрнинг қуруқ термометрдан фарқи шуки, унинг симобли шарчаси сув билан ҳўлланган матога ўраб қўйилади. Нам ҳаво оқими бу термометрларнинг симобли шарчаларини ювиб ўтганда қуруқ термометр нам ҳаво температурасини кўрсатади. Хўл термометр эса ўзининг симобли шарчаси ўралган нам матодаги сув температурасини билдиради. Нам термометрни ҳаво ювиб ўтганда ҳўл мато сиртидаги сув буғланади (агар нам ҳаво тўйин-ган бўлмаса). Бунда матони ювиб ўтадиган ҳаво қанчалик қуруқ бўлса, яъни ҳаводаги буғнинг парциал босими қанчалик кичик бўлса, сув шунчалик жадалроқ буғланади ва нам мато температураси пасая бошлайди.



6.2-расм.

Нам мато температураси пасайганда нам матога ҳавонинг энг яқин қатламларидан иссиқлик келади. Шу туфайли мувозанат (нам мато температурасининг ўзгармаслиги) шудринг нуқтаси температурасида эмас, балки бироз юқори температурада қарор топади. Бу температура хўл термометр температураси деб айтилади. Қуруқ термометр температураси tқ билан, ҳўл термометр температураси tҳ орасидаги айирма ҳаво намлигига пропорционал бўлади. tқ ва tҳ ни билган ҳолда махсус психрометрик диаграммалар (6.2-расм) ёки жадваллар ҳамда hd - диаграммалардан фойдаланиб, ҳавонинг нисбий намлиги аниқланади.

6.2. Нам ҳавонинг зичлиги, газ доимийси ва энтальпияси

Нам ҳавонинг зичлиги аралашма температурасидаги ва ўзининг парциал босимида олинган буғ ва қуруқ ҳаво зичликлари йиғиндисига тенг.

$$\rho=\rho_б+\rho_х, \qquad (6.11)$$

яъни

$$\rho=p/RT;\ \rho=\rho_б\rho_б+p_x\cdot r_x \qquad (6.12)$$

Нам ҳавонинг газ доимийсини қуйидаги тенгламалардан аниқлаш мумкин:

$$R=8314{,}2/\mu_{ўр}=8314{,}2/(\mu_x\cdot r_x+\mu_б\cdot r_б) \qquad (6.13)$$

Нам ҳаво энтальпияси қуруқ ҳаво ва сув буғи энтальпиялари йиғиндисига тенг. Нам ҳаво энтальпиясини 1 кг қуруқ ҳавога ёки (1+d) кг нам ҳавога нисбатан олиш мумкин.

(1+d) кг нам ҳаво энтальпияси қуйидагига тенг:

$$h=h_x+dh_б \qquad (6.14)$$

1 кг қуруқ ҳаво энтальпияси (кЖ/кг) миқдори унинг температураси t°C қийматига тенг, чунки p=const да қуруқ ҳаво солиштирма иссиқлик сиғими ~1кЖ/(кг·град) га тенг.

1 кг қуруқ тўйинган буғнинг паст босимлардаги энтальпияси қуйидаги эмпирик формуладан аниқланиши мумкин:

$$h_б=2490+1{,}97\ t_т,$$

у ҳолда нам ҳаво энтальпияси:

$$h=t+(2490+1.97t_т)d \quad бўлади.$$

6.3. Нам ҳавонинг hd - диаграммаси

Нам ҳаво параметрларини проф. А.К. Рамзин томонидан 1918 йилда таклиф қилган hd - диаграмма ёрдамида аниқлаш қулайдир.

Агар ордината ўқига нам ҳаво энтальпияси h ни, абциссалар ўқига эса ҳавонинг нам сақлами d ни қўйиб чиқсак, у ҳолда hd - диаграмма ҳосил бўлади.

Бу диаграмма ёрдамида нам ҳаво билан боғлиқ бўлган ҳисобларни, жумладан параметрларни аниқлаш ва қуритиш жараёнларини текширищ мумкин.

Диаграммада турли хил чизиқларни қулайроқ жойлаштириш учун координата ўқлари бир-бирига нисбатан 135°С остида жойлаштирилади.

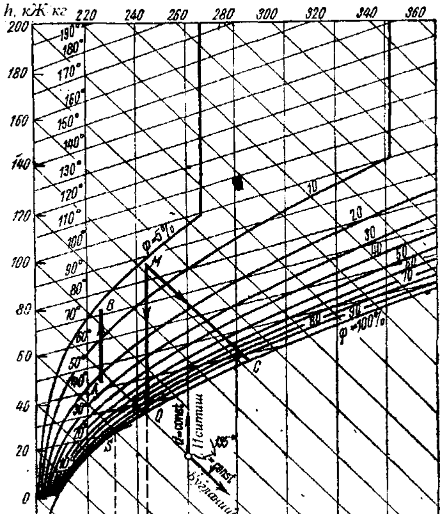
Бу қийшиқ бурчакли диаграммада d=const чизиқ вертикал (ординаталар ўқига параллел) жойлашади.

Бу қийшиқ бурчакли hd - диаграммада изоэнтальпиялар (6.3-расм)

d ўқига параллел, яъни ўша α бурчак остида жойлашган. Қийшиқ бурчакли тизимда температуралар ортиши билан изотермалар қиялиги ҳам ортади, бунда 0°С изотерманинг қиялиги нолга тенг бўлади.

Диаграмма 98 кПа барометрик босим учун тузилган. Лекин диаграммадан бошқа босимларда ҳам фойдаланиш мумкин, чунки атмосфера босимини одатдаги ўзгаришларида h ва d кам ўзгаради.

hd - диаграмма t ва f орқали h ва d ни, d орқали рб-ни аниқлаш имконини беради. Бундан ташқари hd - диаграммадан нам ҳавонинг ҳар бир ҳолати учун шудринг нуқтаси температурасини аниқлаш мумкин. Нам ҳавони иситиш d=const да рўй беради. hd - диаграммада бу жараён AB вертикал чизиқ билан тасвирланган. Совитиш жараёни ҳам d=const да кечади (MO тўғри чизиқ). Бу жараён ҳавони тўлиқ тўйинишгача, яъни φ=100% гача тўғридир. Ҳаво бундан кейин ҳам совитилса, у намлик билан ўта тўйинади ва ҳаводан намлик шудринг сифатида ажралиб чиқади.



6.3-расм. Нам ҳавонинг hd - диаграммаси

Конденсация жараёнини шартли равишда φ=100% чизиқ бўйича кечади деб ҳисоблаш мумкин. Масалан, 0 нуқтадан S нуқтагача конденсацияланиш натижасида ҳосил бўлган сув миқдори (1кг қуруқ ҳавога нисбатан) d_1-d_2 га тенг. Ҳавони ўзгармас босимда намлик билан тўйинган

жараёни h=const да рўй беради (MC кесма). hd-диаграмма ёрдамида шудринг нуқтаси температурасини аниқлаш мумкин. Бунинг учун ҳавонинг маълум ҳолатини белгиловчи нуқтадан φ=100% чизиғигача вертикал ўтказилади ва кесишган нуқтадан ўтувчи изотер-ма шудринг нуқта температурасини (0 нуқта) билдиради.

Назорат учун саволлар

1. Нам ҳавога таъриф беринг.
2. Туйиниш температураси қандай параметрларга боғлиқ?
3. Нисбий намлик нима?
4. Абсолют намлик қандай аниқланади?
5. Психрометр қандай ишлайди?
6. Психрометрик жадвалдан қандай фойдаланилади?
7. Шудринг нуқтаси қандай аниқланади?
8. Максимал нам сақлаш нима?
9. Гигрометр қандай ишлайди?
10. Нам ҳавонинг зичлиги қандай аниқланади?
11. Нам ҳавонинг hd - диаграммаси.

ЕТТИНЧИ БОБ

ОҚИМ ТЕРМОДИНАМИКАСИ

7.1. Оқим учун термодинамиканинг биринчи қонуни

Буғ ва газ турбиналари, турбокомпрессорлар, реактив двигателлар ва бошқа кўпчилик ҳозирги замон машиналаридаги иш жараёнлари иш жисми-газ ёки буғ оқимининг кинетик энергиясидан фойдаланишга асосланган.

Газ оқимининг кинетик энергияси унинг оқиш тезлигининг квадратига пропорционал бўлади, бинобарин оқиш тезлиги қанчалик юқори бўлса, унинг иш бажариш хусусияти шунчалик катта бўлади. Газнинг ички энергиясини ҳаракатнинг кинетик энергиясига айлантирадиган каналлар соплолар дейилади. Газ сопло бўйлаб ҳаракатланганда унинг босими пасаяди, тезлиги эса ортади. Агар каналда ишчи жисмнинг сиқилиши натижасида унинг босими ортиб, тезлиги камайса, бундай каналии диффузор деб айтилади.

Газ оқимини текширишда, одатда, барқарор оқим иссиқлик алмашинувисиз (адиабатик) амалга оширилади, деб фараз қилинади. Каналнинг исталган кесимида газнинг барча параметрлари (v, w, p, T) вақт ўтиши билан ўзгармайдиган оқиб чиқиш жараёни барқарор оқиб чиқиш жараёни дейилади.

Газ оқими учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$dq = du + d(u + pv) + dw^2 / 2 \qquad (7.1)$$

бунда dq-1кг газга ташқи иссиқлик манбаидан берилган иссиқлик:

du - газ ички энергиясининг ўзгариши;

d (pv) - 1кг газни канал бўйича силжитишга сарфланган иш (силжитиш иши);

dw^2/s - газ силжиганда кинетик энергиянинг ўзгариши.

(u+pv) катталик энтальпия бўлгани сабабли,

$$dq = dh + dw^2 / 2 \qquad (7.2)$$

ёки

$$q = h_1 - h_2 + (w_2^2 - w_1^2) \qquad (7.3)$$

(7.2) тенгламадан кўриниб турибдики, газнинг оқиш жараёни-да келтирилган иссиқлик ички энергиянинг ўзгаришига, силжитиш ишига ва ишчи жисмни кинетик энергиясининг ўзгаришига сарфланади ёки газ

оқимида келтирилган иссиқлик энтальпиянинг ҳамда кине-тик энергиянинг ўзгаришига сарфланади. Адиабатик жараёнда dq=0, шунинг учун:

$$dh = dw^2 / 2 = 0$$

ёки

$$h_1 - h_2 = (w_2^2 - w_1^2) / 2 \qquad (7.4)$$

Демак, газ ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинмай канал бўйлаб ҳаракатланганда унинг энтальпияси камайиши натижасида кинетик энергияси ортади.

Агарда ишчи жисмни бошланғич тезлиги нолга тенг бўлса, у ҳолда оқим тезлиги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$w = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$$

Агар энтальпия кЖ/кг да ўлчанса, у ҳолда охирги тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$w = 44{,}72\sqrt{h_1 - h_2} \qquad (7.5)$$

h_1 ва h_2 катталиклар hs - диаграммадан ёки шу моддани жадвалларидан аниқланади.

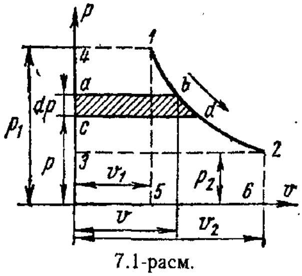
7.2. Оқим бажарадиган иш

Маълумки, $dw^2/2$ катталик, ишчи жисм кинетик энергиясининг чексиз кичик ортишидир.

Газнинг канал бўйлаб ҳаракатланишида шу энергиядан фойдали иш олиш учун фойдаланиш мумкин.

Газнинг оқишида қайтар жараёнлар учун (7.3) тенгламадан:

$$dw^2 / 2 = -vdp \qquad \text{ёки} \qquad wdw = -vdp \qquad (7.6)$$



7.1-расм.

(7.6) тенгламадан кўриниб турибдики, газнинг канал бўйлаб ҳаракатида dw ва dp ишоралари қарама-қарши бўлади. Агар $dp>0$, газ сиқилади ва унинг тезлиги камаяди: $dw<0$.

Агар $dp<0$ бўлса, газ кенгаяди ва унинг тезлиги ортади $dw>0$.

Газнинг оқишидаги тўлиқ ишни pv - диаграммада тасвирлаш мумкин (7.1-расм.) 7.1-расмда қайтар кенгайиш жараёни 1-2 тасвирланган.

Чексиз кичик бажариладиган иш - тўлиқ иш сон жиҳатидан авdc юзага тенг. У ҳолда 1-2 жараёндаги тўлиқ иш.

$$A_{тўл} = \int_{p_2}^{p_1} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v_1 (p_1 / p_2)^{1/n} dp = [n/(n-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \qquad (7.7)$$

Газ оқимининг кинетик энергиясининг ортиши (тўлиқ иш) (7.3) ва (7.6) тенгламадан кўриниб турибдики, газ оқимининг кенгайиш иши ва

$\int_{v_1}^{v_2} p dv$ силжитиш иши (p_2v_2-p_1v_1) лар айирмасига тенг.

Атўл сон жиҳатидан 12341 юзага тенг. Агар 1-2 жараён политроп жараён бўлса, у ҳолда тўлиқ ишни қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз:

$$A_{тўл} = \int_{p_2}^{p_1} v dp = \int_{p_2}^{p_1} v_1 (p_1 / p_2)^{1/n} dp = [n/(n-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \qquad (7.8)$$

Идеал газнинг адиабатик кенгайишида:

$$A_{тўл} = \int_{p_2}^{p_1} v_1 (p_1 / p_2)^{1/k} dp = [k/(k-1)](p_1 v_1 - p_2 v_2) \qquad (7.9)$$

Газнинг оқиб чиқишидаги тўлиқ ишни (12341-юза) газнинг кенгайиш иши (12651 юза) билан таққосласак,

$$A_{тўл} = nA_{кенг}$$

яъни, тўлиқ иш кенгайиш ишидан n марта катта бўлади.

(7.3) тенгламадан кўриниб турибдики:

$$dA_{тўл} = dw^2/2 = dq - dh$$

ёки

$$A_{тўл} = q + h_1 - h_2$$

Демак, газнинг оқишидаги тўлиқ иш ташқи иссиқлик манбаи ҳисобидан ва газ энтальпиясининг камайиш ҳисобига олинишини мумкин.

Адиабатик оқим учун (7.4) тенгламадан.

$$dA_{тўл} = dw^2/2 = -dh$$

у ҳолда

$$A_{тўл} = (w_2^2 - w_1^2)/2 = h_1 - h_2 \qquad (7.10)$$

Агар жараён қайтмас бўлса, у ҳолда газнинг оқимидаги тўлиқ иш (босимни бир хил ўзгаришида) кам бўлади, чунки газнинг охирги ҳолатдаги энтальпияси ишқаланиш иссиқлиги ҳисобига катта бўлади.

Канал деворлари билан газ ўртасидаги иссиқлик алмашинувини де-

ярли йўқ деб ҳисобласак, у ҳолда газнинг оқимини адиабатик деб олсак бўлади.

Адиабатик жараёнда газнинг оқиб чиқиш тезлигини қуйидаги тенгламадан келтириб чиқариш мумкин:

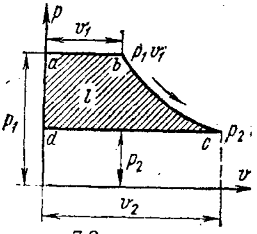
$$dA_{тўт} = dw^2/2$$

ёки

$$A_{тўт} = \int_1^2 dw^2/2 = (w_2^2 - w_1^2)/2$$

У ҳолда

$$w_2 = \sqrt{2A_{тўт} + w_1^2}$$



7.2-расм.

бу ерда w_1-газнинг бошланғич тезлиги; w_2-газнинг каналдан оқиб чиқиш тезлиги.

Кўпчилик ҳолларда $w_2 \gg w1$ бўлгани туфайли $w_1 \approx 0$ деб олиш мумкин, у ҳолда

$$w = \sqrt{2A_{тўт}} = \sqrt{2(h_1 - h_2)} \qquad \textbf{(7.11)}$$

pv - диаграммада (7.2-расм) газнинг оқиб чиқишини тўлиқ иши abcdq юза билан тасвирланади.

7.3. Газнинг оқиб чиқиш тезлиги ва сарфи

Идеал газнинг адиабатик оқиб чиқишидаги тўлиқ иши (7.9) тенгламадан, адиабатик оқиб чиқиш тезлигини эса (7.11) формуладан аниқланади:

$$w = \sqrt{2A_{тўт}} = \sqrt{2\left[\frac{k}{(k-1)}\right](p_1v_1 - p_2v_2)} \qquad \textbf{(7.11)}$$

ёки

$$w = \sqrt{2\left[\frac{k}{k-1}\right]p_1v_1\left[1 - (p_2/p_1)\right]^{(k-1)/k}} \qquad (7.12)$$

Газнинг оқиб чиқиш тезлиги газнинг соплога киришидаги ҳолатига ва чиқишдаги p_2 босимига боғлиқ бўлади. Газнинг соплодан оқиб чиқиш тезлигини билган ҳолда соплонинг чиқиш тезлигидан чиқаётган газнинг бир секундаги массавий сарфи m ни ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$m = fw/v_2 \qquad (7.13)$$

бу ерда f - соплонинг чиқиш кесими юзаси;

w - оқиб чиқиш тезлиги;
v_2 - чиқиш кесимидаги газнинг солиштирма ҳажми.

Адиабатик жараён учун:

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

У ҳолда идеал газнинг бир секунддаги массавий сарфи:

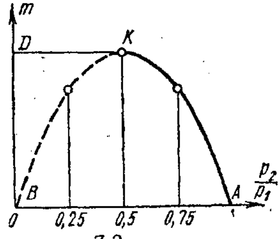
$$m = \frac{f\sqrt{2[k(k-1)](p_1/v_1)[1-(p_2/p_1)]^{(k-1)/k}}}{v_1(p_1/p_2)^{1/k}}$$

ёки

$$m = f\sqrt{2[k(k-1)](p_1/v_1)[(p_2/p_1)^{2/k} - (p_2/p_1)^{(k+1)/k}]} \qquad (7.14)$$

Идеал газнинг бир секунддаги массавий сарфи чиқиш кесимининг юзасига, газнинг бошланғич ҳолатига ва кенгайиш даражасига боғлиқдир.

(7.14) - формуладан кўриниб турибдики, газнинг сарфи m p_2/p_1 нисбатга боғлиқдир. Агар $p_1=p_2$, яъни $p_2/p_1=1$ деб қабул қилсак, у ҳолда (7.14) формулага кўра газ сарфи нолга тенг бўлади. Ҳақиқатан ҳам $p_1=p_2$ да босимлар фарқи бўлмайди ва оқиб чиқиш жараёнининг бўлиши мумкин эмас. Агар (7.14) формулага p_2/p_1 нинг қийматини 0 дан 1 га қадар кетма-кет қўйиб борсак, газ сарфининг ўзгариши 7.3-расмда кўрсатилган эгри чизиқ билан тасвирланади.



7.3-расм.

АК эгри чизиқдан кўриниб турибдики, p_2/p_1 нисбатни камай-иши билан газ сарфи ортади ва $p_2/p_1=\beta_{қ}$ бўлганда m максимумга эришади. (p_1"0,5p1).

p_2/p_1 нисбат янада камайганда (7.14) формулага кўра газ сарфи КД эгри чизиқ бўйича камайиши, $p_2/p_1=0$ да (тўла вакуум), $p_2=0$ да эса газ сарфи нолга тенг бўлиши керак. (В нуқта). Ҳақиқатда эса p_2/p_1 нисбат камайганида газ сарфи ортиб максимумга етади ва газ чиқиб кетаётган муҳитда босимнинг камайишидан қатъи назар, ўзгармас бўлиб қолади (КД чизиқ).

Демак, $\beta_к<p_2/p_1<1$ учун тажриба натижалари (7.14) тенгламага мос келади, $0<p_2/p_1<\beta_k$ ҳолда улар фарқ қилади.

Буни оқиб чиқиш жараёнининг физикавий табиатини текшириш йўли билан тушунтириш мумкин. $\beta_k<p_2/p_1<1$ да сопло оғзидаги босим ташқи муҳитдаги босимнинг ўзгаришига мувофиқ тарзда ўзгаради. Бу ҳодиса газнинг сопло каналидаги оқиш тезлиги товуш тезлигига етгунга қадар давом этиши мумкин. $0<p_2/p_1\beta_k$ да оқиб чиқиш тезлиги товуш тезлигига тенг бўлиб қолади, бунда қўзғалиш теварак муҳитдан сопло ичкарисига узатилмайди ва муҳитда босимнинг кейинги камайиши соплонинг чиқиш кесимида босимнинг пасайишига олиб келмайди.

Бу босим газнинг сопло орқали максимал сарф бўлишига мувофиқ келади. Бундай босим критик босим дейилади ва ркр билан белгиланади. У кўрсатилган кесимдаги мумкин бўлган энг паст босим бўлиб, тахминан 0,5 р1 га тенг. Бунда $p_2/p_1=p_{kp}/p_1$ нисбат ҳам ўзгармаслигича қолади.

Бу нисбат оқиб чиқишдаги босимларнинг критик нисбати дейилади ва bкр билан белгиланади.

Шундай қилиб,

$$p_{kp}/p_1=b_{kp}$$

Босимлар критик нисбатларининг аниқ қийматини қуйидагича топиш мумкин.

Юқорида айтиб ўтганидек, $p/p_1=b_k$ да газ сарфи m максимум бўлади. (7.14) тенгламада ўзгарувчан катталик қуйидагидир:

$$\left[(p_2/p_1)^{2/k}-(p_2/p_1)^{(k+1)/k}\right]$$

Шунинг учун максимумни топиш учун шу катталикни биринчи ҳосиласини олиб нолга тенглаштирамиз, p_2/p_1 катталикни ҳосилани нолга айлантирадиган қиймати эса β_k бўлади.

$$\frac{\partial}{\partial\beta}(\beta^{2/k}-\beta^{(k+1)/k})=\frac{2}{k}\beta^{(2/k)-1}-\frac{k+1}{k}\beta^{[(k+1)/k]-1}=0$$

бундан

$$\beta_k=p_k/p_1=\left[2/(k+1)\right]^{k/(k-1)} \qquad (7.15)$$

Босимларнинг критик нуқтаси фақат адиабата кўрсаткичи к га, яъни газнинг табиатига боғлиқ.

Бир атомли галар учун к=1,66 ва β_{kp}=0,49;
Икки атомли газлар учун к=1,40 ва β_{kp}=0,528;
Уч атомли газлар учун к=1,30 ва β_{kp}=0,546
Тўйинган қуруқ буғ учун к=1,135 ва β_{kp}=0,577.

Шундай қилиб, бошланғич босим p_1 нинг қиймати қанчалик катта бўлмасин ёки газ оқиб чиқаётган муҳитдаги охирги босим p_2 қанчалик кам бўлмасин, газнинг сопло оғзидаги критик босим унинг бошланғич босимининг ярмидан кам бўлиши мумкин эмас.

/ Босимларнинг критик нисбатида газнинг оқиб чиқиш тезлиги критик тезлик дейилади ва wкр билан белгиланади. Критик тезликни (7.12) тенгламадан, p_2/p_1 ўрнига $\beta_k=\left[2/(k+1)\right]^{k/(k-1)}$ ни қўйиб аниқлаш мумкин.

$$w_{kp} = \sqrt{2[k/(k-1)]p_1v_1[1-(p_2/p_1)^{(k-1)/k}]} =$$

$$= \sqrt{2\left[\frac{k}{(k-1)}\right]p_1v_1\left[1-\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}\cdot\frac{k-1}{k}}\right]}$$

У ҳолда

$$w_{kp} = \sqrt{2[k/(k+1)]p_1v_1} \qquad (7.16)$$

(7.16) формуладан кўриниб турибдики, wкр катталиги газнинг табиатига, яъни адиабата кўрсаткичи к га ва газнинг бошланғич параметрлари p_1 ва v_1 га боғлиқ. Критик тезликни газ оқиб чиқаётган муҳитда товушнинг тарқалиш тезлигига тенглигини исботлаш мумкин.

Адиабатик жараён тенгламасидан

$$v_1 = v_k(p_k/p_1)^{1/k}$$

(7.15) тенгламадан p_1 ни топамиз:

$$p_1 = p_k[(k+1)/2]^{k/(k-1)}$$

ёки

$$v_1 = v_k\left(\frac{p_k}{p_k[(k+1)/2]^{k/(k-1)}}\right)^{1/k} = [2/(k+1)]^{1/(k-1)}v_k$$

ва

$$v_1p_1 = p_k[(k+1)/2]^{k/(k-1)}\cdot v_k[2/(k+1)]^{1/(k-1)}$$

бундан

$$p_1v_1 = v_kp_k(k+1)/2$$

p_1v_1 катталикни (7.16) формулага қўйиб wкр ни топамиз:

$$w_{kp} = \sqrt{2k/(k+1)\cdot v_kp_k(k+1)/2}$$

Юқоридагини ўзгартириб қуйидагига эга бўламиз:

$$w_{kp} = \sqrt{kp_kv_k} \qquad (7.17)$$

Маълумки, товушнинг тарқалиш тезлиги Лаплас формуласи-дан аниқланади:

$$Q = \sqrt{k(p/\rho)} = \sqrt{kpv},$$

бу ерда р - муҳит босими, Н/м²;
r - муҳит зичлиги, кг/м³.

Идеал газ учун

$$Q = \sqrt{kRT}$$

Товуш тезлиги газнинг ҳолатига ва табиатига боғлиқдир ҳамда температуранинг функциясидир.

Бундан қуйидагидек хулоса қилиш мумкин: каналнинг ҳар қандай кесимига шу кесимдаги р ва v катталиклар билан аниқланадиган маҳаллий товуш тезлиги мос келиши керак.

$Q = \sqrt{kv_k P_k}$ катталик критик оқиб чиқиш пайтида товушнинг газда тарқалиш тезлигини белгилайди.

Демак, газнинг оқиб чиқишидаги критик тезлик шу кесимдаги маҳаллий товуш тезлигига тенг, яъни

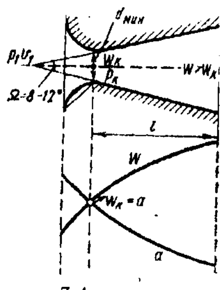
$$w_{kp} = Q$$

Босимларнинг критик нисбатида максимал сарф шмакс ни ҳисоблаб топиш учун (7.14) формулада p_2/p_1 нисбатни (7.15) формуладан унинг критик катталиги p_k/p_1 билан алмаштириш керак. Шундан кейин баъзи ўзгартиришлар киритиб, газнинг максимал сарфини аниқлаш формуласини оламиз:

$$m_{макс} = f_1 \sqrt{2[k/(k+1)](p_1/v_1)[2/(k+1)]^{2/(k-1)}} \qquad (7.18)$$

Демак, газнинг максимал сарфи газнинг бошланғич ҳолатига, чиқиш кесимнинг юзасига ва газнинг табиатига, яъни адиабата кўрсаткичига боғлиқ экан.

Газнинг ички энергиясидан тўла фойдаланиш учун сопло ташқарисида товуш тезлигидан юқори тезлик ҳосил қилиш зарур бўлади. Бу мақсадда Лаваль соплоси дейиладиган комбинациялашган сопло ишлатилади. 7.4-расмда Лаваль соплосининг схемаси ва газ босимининг оқиб чиқиш тезлигига боғлиқ ҳолда ўзгариш графиги кўрсатилган.



7.4-расм

Биринчи қисми торайиб борадиган (диаметри d мин) қисми товуш тезлигича сопло, иккинчи қисми - кенгайиб борадиган қисми (диаметри Д) эса товуш тезлигидан юқори сопло сифатида ишлайди.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, соплонинг кенгайиб борадиган қисмининг конуслик бурчаги W=8-12° бўлиши керак. Конуслик бурчаги бундан катталашиб кетса, оқим сопло деворидан узилиб қолиши мумкин, бу эса қайтмас исрофларни кескин кўпайтириб юборади.

Газ соплодан оқиб чиқаётганида адиабатик кенгаяди. Бунда унинг босими ва температураси пасаяди, оқиб чиқиш тезлиги эса ортади.

Соплонинг энг кичик кесимида критик босим рк ва товушнинг муҳитдаги тезлигига тенг критик тезлик wk қарор топади. Соплонинг кенгайиб борадиган қисмидан ўтишида газ яна кенгаяди, босим рк дан рг

гача пасаяди ва тезлиги товушнинг муҳитдаги тезлигидан катта бўлиб қолади .

Оғиз томони кенгайиб борадиган сопло ишлатиш, оқиб чиқиш тезлигини босимлар фарқидан тўла фойдаланиш ҳисобига ошириш имконини беради. Газнинг максимал сарфи mмакс (7.14) формуладан аниқланади. Сопло кенгайиб борадиган қисмининг узунлиги l қуйидаги формуладан аниқланади:

$$l=(Д-d)/2 \lg \Omega/2$$

бу ерда Ω - соплонинг конуслилик бурчаги; Д - чиқиш кесими диа-метри; d - сопланинг минимал кесимдаги диаметри.

Газнинг оқиб чиқишини кўриб чиқишда, шу вақтга қадар газ сопло деворларига ишқаланмай адиабатик кенгаяди, деб фараз қилинган эди. Амалий шароитларда эса, оқиб чиқиш жараёнида доимо газ энергиясининг бир қисми содир бўладиган ишқаланиш ишига сарфланади, яъни исроф бўлади. Шу сабабли оқиб чиқишнинг ҳақиқий тезлиги wx назарий тезлик w дан доимо кичик бўлади.

Газнинг ҳақиқий тезлиги wx ни назарий тезлик w га нисбатига тезлик коэффициенти дейилади.

$$\varphi=w_x/w \quad \text{ва} \quad w_x=\varphi\cdot w \qquad (7.19)$$

Кинетик энергиянинг исрофи қуйидагига тенг:

$$(w^2-wx^2)/2=(w^2-\varphi^2w^2)/2=(1-\varphi)(w^2/2)=(w^2/2)= x\ (w^2/2).$$
$$\varepsilon=(1-\varphi^2)$$

катталик энергиянинг исроф коэффициенти дейилади.

Ишчи жисмни ҳақиқий кинетик энергияси $w_x{}^2/2$ ни назарий-си $w^2/2$ га нисбати соплонинг фойдали иш коэффициенти деб айтила-ди ва η_c билан белгиланади

$$\eta_c=(w_x^2):(w^2/2)=(w_x^2/w^2)=\varphi^2w^2/w^2=\varphi \qquad (7.20)$$

Соплонинг Ф.И.К. тезлик коэффициентининг квадратига тенг экан.

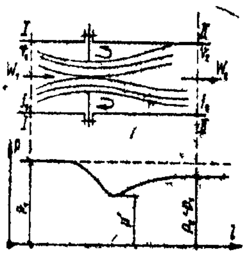
7.4. Газ оқимини дросселлаш.

Қувур ёки бирор бошқа каналда оқаётган газ оқими йўлида кескин тораювчи тўсиқ учраса у ҳолда оқаётган газ босими тўсиқдан кейин тўсиқдан олдинги босимга қараганда ҳар доим кам бўлади. Бундай тўсиқ маҳаллий қаршилик деб айтилади.

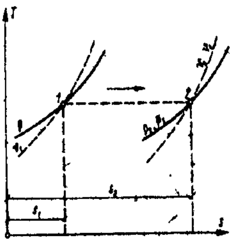
Каналдаги торайган жой орқали оқиш жараёнида газнинг бо-симини пасайиш эффекти газнинг дросселланиши (ғижимланиши, эзилиши) деб айтилади. Каналнинг кўндаланг кесимини торайтирувчи, ҳар қандай кран,

вентиль, задвижка, клапан ва бошқа маҳаллий қаршиликлар газнинг дросселланишини юзага келтиради ва демак босим тушиши рўй беради. Кўпчилик ҳолларда дросселлаш натижасида иш жисмининг иш бажариш қобилияти камаяди, яъни у албатта зарар келтиради. Лекин у баъзи ҳолларда зарур бўлиб, дросселлаш сунъий равишда ҳосил қилинади, масалан, буғ двигателларини бошқаришда, совитиш машиналарида паст температуралар олишда у асос бўлиб хизмат қилади. Газларни суюқ ҳолга ўтказишда эса, хал қилувчи роль ўйнайди ва ҳоказо. Босимнинг маҳаллий қаршилигидан кейин пасайишига сабаб бу маҳаллий қаршиликни енгишга сарфланадиган оқим энергиясининг диссипацияланишидир.

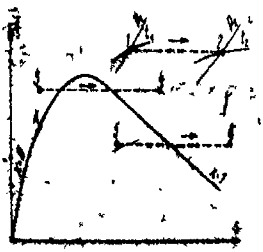
Газнинг кўндаланг кесими f бўлган қувурдан трубопровод бўйлаб ҳаракатланишини кўриб чиқайлик. (7.5-расм).



7.5-расм



7.6-расм



7.8-расм

Трубопровод ичига тор тешикли диафрагма ўрнатилган, газ трубопро-вод бўйлаб дифрагмадаги тешик орқали I-I кесимдан II-II кесимга оқиб чиқади, деб фараз қилайлик. Оқиб чиқиш жараёни адиабатик жараён.

Диафрагманинг тор тешигида газнинг тезлиги w_1 дан w_0 гача ортади, босими эса соплодан одатдаги оқиб чиқиш жараёнидаги каби пасаяди. Трубопроводнинг ўнг қисмида тор тешикдан кейин газнинг тезлиги бутунлай пасайиб, ўзининг дастлабки қийматига тушиб қолади, $f_1=f_2$ десак, $w_1 \approx w_2$ бўлади.

Диафрагмадан кейинги босим p_2 эса фақат қисман тикланади ва диафрагмадан олдинги босимга қараганда кам бўлади. Бунга сабаб шуки, газ тор тешикдан ўтганда уюрма ҳосил бўлиши ва ишқаланиш туфайли энергия исроф бўлади.

Иссиқлик алмашиниш бўлмагани туфайли (7.4) тенгликка асо-сан

$$h_1 - h_2 = \frac{1}{2}\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right)$$

бу ерда h_1, h_2 газнинг I-I ва II-II кесимлардаги энтальпияси.

I-I ва II-II кесимлар учун $w_1 \approx w_2$ деб қабул қилсак, $h_1=h_2$ бўлади, яъни газни дросселлаш натижасида унинг энтальпияси ўзгармайди. Идеал

газ учун энтальпия фақат температурага боғлиқ бўлиб, босимга боғлиқ бўлмаганлиги сабабли идеал газ дросселланганда температура ҳам ўзгармасдан қолади.

Биз бу ерда дросселланаётган газнинг дросселгача ва дросселдан кейинги холатини текширмоқдамиз. Дросселнинг ўзида содир бўладиган жараёнга келганда шуни эслатиб ўтиш лозимки, газ дроссел ичида оққанида унинг энтальпияси ўзгариши мумкин: ҳақиқатан ҳам, дроссел ёки бошқа маҳаллий қаршилик қувур ўтиш кесимининг тораййишидан иборат бўлганлигидан, газ оқими дроссель орқали оққанида тезланади„унинг кинетик энергияси ортади ва бинобарин, энтальпияси камаяди. Дросселдан кейин, оқим кесими қайта ортгандан сўнг оқимнинг тезлиги секинлашади, унинг кинетик энергияси камаяди ва энтальпияси дастлабки қийматигача ортади.

$h_1=h_2$ тенгликдан, идеал газлар учун c=const бўлганда дрос-селлаш жараёнида $T_1=T_2$ бўлади, у холда $p_2v_2=p_1v_1$ дан $p2<p1$ бўлгани учун $v_2>v_1$(7.6-расм)

Ts-диаграммада дросселлашни бир горизанталда жойлашган 1 ва 2 нуқталар билан тасвирлаш мумкин. Лекин 1-2 изотерма дроссел-лаш жараёнига мос келади деб айтиб бўлмайди, чунки фақатгина охирги 1 ва 2 нуқталаргина газнинг мувозанат ҳолатини тавсифлайди, оралиқ нуқталар эса, ҳақиқий жараёнга мос келмайди. Юқорида айтилганидек, 1 ва 2 нуқталар орасидаги ҳақиқий жараён h ва T нинг ўзгарувчан қийматларида рўй беради. Шунинг учун дросселлашни h=const да кечадиган жараён деб хисоблаш нотўғридир. Сув буғи учун дросселлаш жараёнини hs - диаграммада (7.7-расм) кузатамиз. Ўта қизиган буғ бошланғич холат параметрига боғлиқ равишда, дросселлаш натижасида ўта қизиган буғ ҳолатида қолиши (1-2-жараён) ёки қуруқ бўлиши, кейин нам, яна қуруқ ва ўта қизиган буғ (3-4-жараён) ҳолатига ўтиши мумкин. Бу дросселлаш даражасига қараб аниқлана-ди. Нам тўйинган буғ бошланғич ва охирги босимга ҳамда дастлабки қуруқлик даражасига боғлиқ равишда нам тўйинган холда қолиши ёки қуруқ ва ўта қизиган холга ўтиши мумкин(5-6-жараён).

Адиабатик дросселлаш жараёнида суюқликлар ва реал газлар температурасининг ўзгариш ҳодисаси Жоуль-Томпсон эффекти деб айтилади. Бу дросселлаш эффекти 1752 йили Жоуль ва Томпсон то-монидан кашф этилган.

Идеал газ учун Жоуль- Томпсон эффекти нольга тенг, чунки дросселлашда идеал газнинг температураси ўзгармайди.

Жоуль-Томпсон эффекти босим ва температуранинг камайишига қараб дифференциал температура-эффектига ва интеграл температура-эффектига ажратилади. Дифференциал эффектда босим ва температура ўзгариши чексиз кичик, интеграл эффектда босим ва температура ўзгариши анча катта бўлади. $(\partial T/\partial p)_h$катталик дифференцал температура эффекти дейилади ва a билан белгиланади:

$$\alpha = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_h \quad (7.21)$$

α нинг қийматини қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$dh = c_p dT - \left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v\right]dp$$ дан

∂ **h = 0 учун** $$dT = \frac{T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v}{c_p}dp \quad (7.22)$$

ва $$\alpha = \frac{T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p - v}{c_p} \quad (7.23)$$

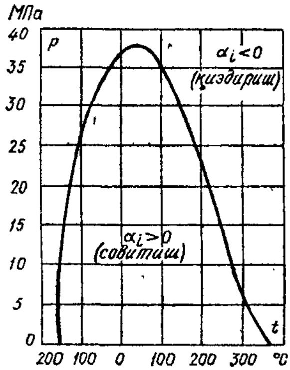
Идеал газ учун dT=0 ва (7.21)тенгликдан.

Интеграл температурага эффекти ΔT қуйидаги муносабат бўйича ҳисоблаб топилади.

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \int_{p_1}^{p_2} \alpha_h dp \quad (7.24)$$

реал газлар учун ΔT ≠ 0 ва ҳам мусбат, ҳам манфий ишорали бўлиши мумкин.

Тажрибанинг кўрсатишича, битта модданинг ўзида α_h нинг ишораси турли холат соҳаларида турлича бўлади. Газнинг α_h=0 тенг бўладиган ҳолати Жоуль-Томпсон эффектининг инверсия нуқтаси дейилади, шу нуқтага мос келган температурага эса инверсия температураси дейилади. Берилган модда ҳолат диаграммасидаги инверсия нуқталарининг геометрик ўрнига инверсия эгри чизиғи дейилади. Агар реал газнинг дросселдан олдинги температураси инверсия температурасидан кам бўлса, у холда газ дросселланганда совийди, агарда газнинг бошланғич температураси катта бўлса, у ҳолда газ дросселлан-ганда исийди.



7.8-расм.

7.8-расмда азотнинг pt - диаграммасидаги инверсия эгри чизиғи мисол тариқасида келтирилган.

Инверсия эгри чизиғи билан чегараланган соҳа ичида $\alpha_h>0$, яъни дроссельланганда газ температураси пасаяди.

Бу соҳадан ташқарида $\alpha_h<0$ яъни дроссельланганда газ температураси ортади. Бошқа моддаларнинг инверсия эгри чизиқлари ҳам шунга ўхшаш тавсифга эга бўлади. Дроссельлаш жараёнида газнинг температурасини ўзгаришини молекуляр-кинетик назария нуқтаи назаридан қуйидагича тушунтириш мумкин. Дроссельлашда $h_1=h_2$, $h=u+pv$, у ҳолда $p_2v_2 - p_1v_1 = u_1-u_2$.

$p_2v_2 - p_1v_1$ айирма 1 кг газни силжитиш ишига тенг. u_1-u_2 эса, 1 кг газни ички энергиясини камайишига тенг. Идеал газлар учун $p_2v_2=p_1v_1$ (чунки $T_1=T_2$) ва $u_2-u_2=0$. Реал газларда эса $p_2v_2 - p_1v_1$ айирма ишораси мусбат ҳам, манфий ҳам ва нолга тенг бўлиши мумкин. Дроссельлашда $p_2<p_1$, $v_2>v_1$ бўлгани учун реал газларнинг потенциал энергияси ҳажм ортиши билан (молекулалар орасидаги масофа ортади) ҳар доим ортади.

Қуйидагидек фараз қилсак, агарда:

а) силжитиш иши $p_2v_2 - p_1v_1=0$, унда $u_1=u_2$ яъни умумий ички энергия ўзгармайди, лекин унинг кинетик энергия қисми потенциал энергия ортиши туфайли камаяди ва мос равишда газнинг температураси пасаяди, демак газ дроссельлаш натижасида совийди.

б) силжитиш иши $p_2v_2 - p_1v_1>0$ унда $u_1-u_2>0$ ва $u_2<u_1$. Бу ҳолда T_2 температуранинг пасайиши янада жадалроқ бўлади, чунки бу ҳолда ички энергиянинг потенциал қисми ортади ва силжитиш иши ички энергиянинг камайиши ҳисобига бажарилади.

в) силжитиш иши $p_2v_2 - p_1v_1<0$ у ҳолда $u_1-u_2<0$, $u_2>u_1$. Бу ҳолда дроссельлашда газни дросселга узатиш ва газнинг ички энергиясини ортгириш учун ташқаридан иш сарфланади.

Ташқи иш абсолют қиймати бўйича ички энергиянинг потенциал қисмидан катта бўлса, у ҳолда унинг кинетик қисми ортади ва исийди. ($T_2>T_1$)

Хусусий ҳолда, агар силжитиш ишининг абсолют қиймати по-тенциал қисмининг ортишига тенг бўлса, у ҳолда $T_1=T_2$. Бу ҳол ин-версия температураси Тинда рўй беради. Демак инверсия температурасида реал газни дроссельлаш, идеал газни дроссельлаш каби бўлади. Инверсия температураси Тин ва Ван-дер-Ваальс тенгламаси $(p+a/v2)(v-b)=RT$ орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$T_{ин}=2a/Rb \quad (7.25)$$

Инверсия температураси критик температура билан қуйидаги тенглик билан боғланган:

$$T_{ин}=6{,}75\ T_к \quad (7.26)$$

Демак, Ван-дер-Ваальс тенгламасига бўйсунадиган реал газларнинг инверсия температураси p=0 да 6,75 марта критик температурадан юқори экан.

Адиабатик дросселлашдан газларни совитишда самарали усул тариқасида фойдаланиш мумкин.

Маълумки, газларни эффектив совитиш усулларидан бири қайтар адиабатик, яъни изоэнтропик кенгайиш жараёни (ташқи ишни бериб) эканлиги 4-бобда эслатиб ўтилган эди. Шунинг учун газлар совитиладиган бу иккала усулни таққослаб кўриш албатта қизиқарлидир. Бу иккала усулдан қайси бири температуранинг кўпроқ пасайишини таъминлашини аниқлаймиз. Бошқача қилиб айтганда аад ва адрос ларни таққослаб кўриш керак.

Маълумки, $dq=c_p dt-T/(\frac{\partial v}{\partial T})pdp$

Қайтар адиабатик (изоэнтропик) жараён учун:

$dq=0 \qquad c_p dt=T/(\frac{\partial v}{\partial T})pdp$

У ҳолда
$$\frac{\partial T}{\partial p}=\frac{T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p-v}{c_p} \qquad (7.27)$$

Адиабатик дросселлаш (яъни қайтмас адиабатик кенгайиш) коэффициенти (7.23) тенгламага асосан

$$\alpha_{дрос}=\frac{T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p-v}{c_p} \qquad (7.28)$$

(7.27) ва (7.28) тенгламалардан:

$$\alpha_{ад}-\alpha_{дрос}=\frac{v}{c_p} \qquad \textbf{(7.29)}$$

ни оламиз.

v ва c_p лар ҳар доим мусбат бўлганлигидан

$$\alpha_{ад}>\alpha_{дрос} \qquad \textbf{(7.30)}$$

Шундай қилиб, қайтар адиабатик кенгайиш жараёни, термодинамикавий нуқтаи назардан, газ ёки суюқликни адиабатик дросселлаш, яъни қайтмас адиабатик кенгайиш жараёнига қараганда анча эффектив совишни таъминлайди. Шунинг учун паст температуралар олишда, масалан,

газларни суюлтиришда дросселлаш усулини эмас, балки, адиабатик кенгайиш усулини қўллаш мақсадга мувофиқдир.

Назорат учун саволлар

1. Сопло нима?
2. Диффузор нима?
3. Оқим учун термодинамиканинг биринчи қонунини ёзинг.
4. Оқим тезлиги қандай аниқланади?
5. Газ оқимининг кинетик энергияси
6. Газ оқимининг кинетик энергияси қандай параметрларга боғлиқ?
7. Газнинг сарфи қандай аниқланади?
8. Газ оқимининг критик босими.
9. Критик тезлик қандай катталикларга боғлиқ?
10. Газнинг максимал сарфи тенгламасини ёзинг.
11. Дросселланишнинг аҳамияти нимадан иборат?
12. Дросселлаш эффектига таъриф беринг.
13. Интеграл температура эффекти.
14. Инверсия температураси қандай аниқланади?

ИККИНЧИ ҚИСМ

ИССИҚЛИК УЗАТИШ АСОСЛАРИ

Жисмлар орасидаги иссиқлик алмашинуви ва иссиқликнинг бир жисм ичида тарқалиш жараёнларининг қонуниятларини ўрганадиган фан иссиқлик узатиш дейилади.

Иссиқлик узатиш, термодинамика билан биргаликда иссиқлик техникасининг назарий асоси ҳисобланади. Иссиқлик алмашинув қонунларини ўрганиш машина, двигатель, аппарат ва шу кабиларнинг иш жараёнларида вужудга келадиган иссиқлик оқимларини бошқариш учун зарур.

Иссиқлик узатиш назариясида иккита асосий масала кўрилади.

1. Берилган шароитда бир жисмдан бошқа жисмга узатиладиган ёки жисмнинг бир қисмидан иккинчи қисмига ўтадиган иссиқлик миқдорини аниқлаш.

2. Иссиқлик алмашинув жараёнида иштирок этаётган жисмнинг турли қисмларидаги температурани аниқлаш.

Температуралар фарқи иссиқлик алмашинувининг зарурий ва етарли шартидир. Иссиқлик уч хил усулда: иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва нурланиш ёки радиация усулида узатилади.

Бу иссиқлик алмашинув усуллари бир-биридан тубдан фарқ қилиб, турли хил қонуниятларга бўйсунадилар.

Иссиқлик ўтказувчанлик - жисмнинг турли температурали айрим қисмлари бир-бирига бевосита текканда иссиқлик энергиясининг тарқалиш жараёни.

Конвекция - бир текис исимаган суюқлик ёки газнинг ҳаракати ва аралашиши натижасида иссиқлик узатиш жараёни.

Нурланиш (нурий иссиқлик алмашинуви) - энергиянинг электромагнит тўлқинлар воситасида узатиш жараёни.

Нурланиш билан иссиқлик узатилишида энергия икки марта айланади: нурланаётган жисм сиртида иссиқлик энергияси нурий энергияга ва нурий иссиқликни ютаётган жисм сиртида нурий энергия иссиқлик энергиясига айланади.

Жисмлар орасидаги иссиқлик алмашинувида, одатда шу учала усулнинг ҳаммаси бир вақтда содир бўлади. Учала усулнинг биргаликда амалга ошиши мураккаб иссиқлик алмашинуви деб айтилади. Мураккаб иссиқлик алмашинуви қонунларини ўрганиш ниҳоятда қийин масала. Шу сабабли иссиқлик узатилишини турли усуллари айрим-айрим ҳолларда кўриб чиқилади.

Иссиқлик алмашинув жараёнлари барқарор (стационар), шунингдек, беқарор (ностационар) ҳолатда бориши мумкин. Жисмнинг исталган нуқтасида температура вақтга боғлиқ бўлмайдиган ҳолат стационар иссиқлик ҳолати, вақтга боғлиқ бўлган ҳолат ностационар ҳолат дейилади.

САККИЗИНЧИ БОБ

ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК

8.1. Асосий тушунчалар

Иссиқлик ўтказувчанлик - бу температуралар фарқи борлиги туфайли туташ муҳитда иссиқликнинг молекуляр узатилишидир.

Иссиқлик алмашинувининг бундай усули, асосан қаттиқ жисмнинг ичида ҳам, шунингдек бир-бирига тегиб турган иккита қаттиқ жисм орасида ҳам содир бўлади. Иссиқлик ўтказувчанлик суюқлик ёки газ қатлами орқали ҳам амалга ошиши мумкин, лекин умуман олганда суюқлик ва газлар (суюқланган металлар бундан мустасно) иссиқликни жуда ёмон ўтказувчан ҳисобланади.

Бир жинсли изотроп жисмни иситишни кўрайлик. Барча йўналишлар бўйича бир хил физик хоссаларга эга бўлган жисмларга изотроп жисмлар деб айтилади. Бундай жисмни иситиш вақтида унинг турли нуқталаридаги температура вақт бўйича ўзгаради ва иссиқлик юқори температура соҳасидан паст температура соҳасига тарқайди.

Вақтнинг айни пайтида кўриб чиқилаётган фазонинг барча нуқталаридаги температура қийматларининг йиғиндиси температура майдони дейилади. Температура майдони қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$t=f(x,y,z,\tau) \qquad (8.1)$$

бу ерда x,y,z - нуқта координаталари; τ - вақт.

Агар жисмнинг температураси координата ва вақтнинг функцияси бўлса, у ҳолда температура майдони ностационар бўлади:

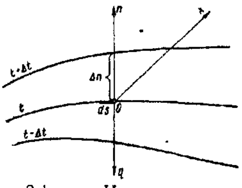
$$t=f(x,y,z,\tau); \ \partial t/\partial\tau\neq 0 \qquad (8.2)$$

Агар жисмнинг температураси фақат координатанинг функцияси бўлиб, вақт давомида ўзгармаса, у ҳолда температура майдони стационар бўлади.

$$t=f(x,y,z); \ \partial t/\partial\tau=0 \qquad (8.3)$$

Температура майдони учта, иккита ва битта координатанинг функцияси бўлиши мумкин ва мос равишда, у уч, икки ва бир ўлчамли дейилади. Ҳамма нуқталарида температура бир хил бўладиган сирт изотермик сирт дейилади.

Фазонинг айни нуқтасининг ўзида бир вақтда икки хил температура бўлиши мумкин эмаслиги учун, турли изотермик сиртлар ҳеч вақт



8.1-расм. Изотермалар. Температура градиенти ҳақидаги тушунчага доир

бир-бири билан кесишмайди. Уларнинг барчаси жисм сиртида тугайди ёки бутунлай унинг ичида жойлашади. Жисмнинг температураси изотермик сиртларни кесиб ўтадиган йўналишлардагина ўзгаради (8.1-расм).

Бунда узунлик бирлигида температуранинг энг катта ўзгариши изотермик сиртга нормал n йўналишида бўлади.

Температура ўзгариши Δt нинг изотермадаги нормал бўйича масофа Dn га нисбати температура градиенти дейилади:

$$\lim\left[\frac{\Delta t}{\Delta n}\right]_{\Delta n \to 0} = \frac{\partial t}{\partial n} = grad t \qquad (8.4)$$

Температура градиенти - изотермик сиртга туширилган нормал бўйича йўналган вектордир. Унинг температуранинг ортиши томонига йўналиши мусбат йўналиш ҳисобланади.

Иссиқлик алмашинувининг бошқа турлари каби, иссиқлик ўтказувчанлик жараёни ҳам жисмнинг турли нуқталарида температура бир хил бўлмагандагина амалга ошади, яъни grad $t \neq 0$. Ихтиёрий сиртдан вақт бирлиги ичида ўтадиган иссиқлик миқдори Q иссиқлик оқими дейилади. Иссиқлик оқимининг вектори доимо температуранинг пасайиши томонига йўналган бўлади.

Француз олими Фурье қаттиқ жисмлардаги иссиқлик ўтказувчанлик жараёнларини ўрганиб, юза бирлиги dF дан вақт бирлиги dt ичида ўтаётган dQ иссиқлик миқдори ва температура градиенти ўртасидаги боғланишни аниқлади.

$$dQ = -\chi dF \, grad \, t \, d\tau = -\chi dF \, d\tau (\partial \tau / n) \qquad (8.5)$$

(8.5) тенглама иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонунини ифодалайди ва Фурье қонуни дейилади. Шу тенгламадаги минус ишора иссиқлик оқими билан температура градиентининг векторлари қарама-қарши томонга йўналганлигини билдиради.

(8.5) ифодадаги пропорционаллик коэффициенти χ иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти дейилади. Изотермик сирт бирлигидан вақт бирлиги ичида ўтадиган иссиқлик миқдори иссиқлик оқимининг зичлиги дейилади.

$$q = -dQ/(dFdq) \quad \text{ёки} \quad q = -\chi \, (\partial t/n) \qquad (8.6)$$

Иссиқлик оқими зичлиги q нинг вектори доимо температуранинг пасайиши томонига йўналган бўлади. Ихтиёрий сирт F дан вақт бирлиги ичида ўтаётган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$Q = \int_0^{\tau}\int_F \chi dF d\tau (\partial t / \partial n) \qquad (8.7)$$

Юқорида ўрганилган катталикларни бирликлари қуйидагича:
температура градиенти - град/м;
иссиқлик оқими - Вт;
иссиқлик оқимининг зичлиги - Вт/$м^2$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг бирлиги (8.7) ифодадан аниқланади:

$$\chi = -\frac{Q}{F(\partial t / \partial n)} = \frac{Вт}{м.град} \qquad (8.8)$$

Демак, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати, сон жиҳатдан, температуралар фарқи1°С бўлганда деворнинг бирлик қатламидан ўтадиган солиштирма иссиқлик оқимига тенг.

Турли хил моддалар учун с маълум бир қийматга эга бўлиб, у модданинг тузилишига, зичлигига, босимига ва температурасига боғлиқ.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти χ нинг қиймати ҳар қайси жисм учун тажрибадан топилади. Кўпчилик материаллар учун с нинг температурага боғлиқлигини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\chi=\chi_0[1+b(t-t_0)],$$

бу ерда χ_0-t_0°С температурадаги иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти; t - температура, °С; b - тажриба орқали аниқланадиган температура коэффициенти.

Металлар иссиқликни энг яхши ўтказадилар, уларда χ 3дан 458 Вт/(мЧград) гача ўзгаради. Тоза металларнинг иссиқлик ўтказув-чанлик коэффициенти (алюминийдан ташқари) температура ортиши билан пасаяди. Енгил ғовак материаллар иссиқликни ёмон ўтказади, чунки уларнинг ғоваклари ҳаво билан тўлган бўлади. Агар $\chi<0,2$ Вт/(м·град)бўлса, бундай материаллар иссиқлик изоляция материал-лари дейилади.

Бундай материалларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти температура кўтарилиши билан ортади. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига намликни таъсири катта. Сувнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ёмон, лекин ҳўл материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти унинг қуруқ ҳолатидаги иссиқлик ўтказувчанлигига нисбатан анча катта бўлади. Бунга сабаб шуки, сув иссиқликни ҳавога қараганда деярли 20 марта яхши ўтказади, шу сабабли жисм ғовакларининг сув билан тўлиши унинг иссиқлик изоляция хоссаларини кескин камайтириб юборади.

Температура кўтарилиши билан томчи суюқликларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти камаяди, газларники эса ортади. Сувнинг χ

си температура 0°C дан 127°C гача кўтарилганда ортади, бундан кейин ҳам температура кўтарилса χ камаяди.

8.3-жадвалда айрим материалларнинг иссиқлик ва температура ўтказувчанлик коэффициентлари келтирилган.

Айрим материалларнинг иссиқлик ва температура ўтказувчанлик коэффициентлари

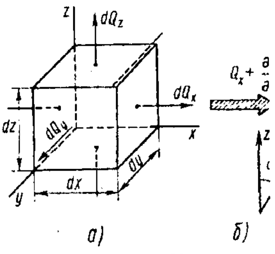
8.3-жадвал

Материаллар номи	ρ, кг/м³	t, °C	χ, Вт/(м·град)	C кЖ/(м·град)	Q·10⁶ м²/сек.
Азбест	770	30	0,11163	0,816	0,186
Бетон	2300	20	0,279	1,13	0,622
Нам тупроқ	1700	17	0,657	2,01	0,192
Пишиқ ғишт	1800	0	0,768	0,879	-
Муз	920	0	2,25	2,26	1,08
Қуруқ қум	1500	20	0,326	0,795	2,74
Шиша	2500	20	0,744	0,67	0,444
Алюминий	2670	0	204	0,921	86,7
Мис	8800	0	384	0,381	112,5
Никель	9000	20	58	0,461	17,8
Кумуш	10500	0	458	0,234	170
Углеродли пўлат	7900	20	45	0,461	14,7
Сув	999,9	0	0,5513	4,212	0,131
Ҳаво (қуруқ)	1,293	0	0,0244	1,005	18,8
Кислород	1,429	0	0,0247	0,915	18,8

8.2. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси. Чегара шартлари

Изотермик сирт dF дан dτ вақт ичида ўтаётган иссиқлик миқдорини аниқлаш учун (8.5) тенгламани F ва τ бўйича интеграллаш лозим, яъни жисм ичидаги температура майдонини билиш керак. Бу масалани ечиш учун иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси келтириб чиқарилади.

Тенгламани келтириб чиқаришда қуйидаги шартлар қабул қилина-



8.2-расм. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасига доир. Декарт (а) ва цилиндрик (б) координаталарда

ди: жисм бир жинсли ва изотроп; унинг физик параметрлари ўзгармас. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, жисмнинг элементар ҳажмига τ вақт ичида ташқаридан иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан келтирилган dQ_1 иссиқлик миқдори ва ички иссиқлик манбаи томонидан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори dQ_2 йиғиндиси жисмнинг ички энергиясининг ўзгаришига тенг бўлиши керак $dQ=dU$:

$$dQ_1+dQ_2=dQ \qquad (8.9)$$

Бу тенглама ҳадларини Декарт координата тизимида аниқлаш учун жисмда томонлари dx, dy, ва dz бўлган параллелепипед ажратиб оламиз (8.2-расм).

Бу ерда dQx, dQy, dQz - олиб келтирилаётган иссиқлик. dQ_{x+dx}, dQ_{y+dy}, dQ_{z+dz} - олиб кетилаётган иссиқлик. У ҳолда dy·dz қирра учун Фурье қонунига (8.5) асосан:

$$dQ_x=-\chi\frac{\partial t}{\partial x}dydzd\tau;\quad dQ_x=-\chi[(\frac{\partial t}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial t}{\partial x})dx]dydzd\tau=$$

$$=-\chi(\frac{\partial t}{\partial x}+\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}dx)dydzd\tau.$$

Бу катталиклар фарқи параллелепипедда қолаётган иссиқлик миқдорини беради:

$$dQ_{x1}=dQ_x-dQ_{x+dx}=\chi\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}dxdydzd\tau$$

Худди шундай боғланишни қолган икки қирра учун келтириб чиқариш мумкин. У ҳолда жисмга келтирилган ва унда қолган уму-мий иссиқлик миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$dQ_1=\lambda(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 t}{\partial z^2})dxdydzd\tau$$

Агар ички иссиқлик манбаининг солиштирма иссиқлик унум-дорлигини qv(Ж/м3) орқали белгиласак:

$dQ_2=q_v$ dx·dy·dz·dt бўлади.

dt вақт ичида жисмнинг ички энергиясининг ўзгариши

$$dQ = c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} dx dy dz d\tau$$

dQ_1, dQ_2 ва dQ ларни (8.9) тенгламага қўйиб, баъзи ўзгарти-ришлардан сўнг қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$c\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) + q_v$$

ёки

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\chi}{c\rho}\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) + \frac{q_v}{c\rho} = a\nabla^2 t + \frac{q_v}{c\rho} \qquad (8.10)$$

бу ерда $a = \frac{\chi}{c\rho}$ - температура ўтказувчанлик коэффициенти;

$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$ - Лаплас оператори.

У ҳолда, иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\nabla^2 t + \frac{q_v}{c\rho} \qquad (8.11)$$

Цилиндрик координаталар тизимида (8.2-расм, б) (8.11) тенг-лама қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 t}{\partial \tau} + \frac{1}{r}\frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}\right) + \frac{q_v}{c\rho} \qquad (8.12)$$

бу ерда r - радиус вектор; φ - бурчак.

Стационар ҳолат учун $\partial t/\partial \varphi = 0$, у ҳолда (8.11) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$a\nabla^2 + q_v/(c\rho) = 0; \quad \text{ёки} \quad \nabla^2 t + q_v/\chi = 0 \qquad (8.13)$$

Ички иссиқлик манбаи бўлмаса:

Стационар ҳолатда $\nabla^2 t = 0$ (8.14)

Ностационар ҳолатда $\partial t/\partial \tau = a\nabla^2 t$ (8.15)

(8.11) ва (8.12) тенгламалар, иссиқлик ўтказувчанлик жараёни рўй бераётган жисмнинг исталган нуқтасидаги температуранинг вақт ва фазовий ўзгаришлари орасидаги боғланишни белгилайди.

Иссиқлик ўтказувчанликни дифференциал тенгламаси (Фурье тенгламаси) иссиқлик ўтказувчанлик усули билан иссиқлик узатили-шини энг умумий ҳолда ёритади.

Бу тенгламани аниқ бир ҳоллар учун қўллашда, вақтнинг бошланғич

пайтида жисмда температуранинг тақсимланишини ва бошланғич шартларни билиш зарур.

Бундан ташқари қуйидагилар маълум бўлиши керак: жисмнинг геометрик шакли ва ўлчами, муҳит ва жисмнинг физик параметрлари, жисм сиртида температуранинг тақсимланишини белгиловчи чегара шартлари.

Юқоридаги барча хусусиятлар дифференциал тенглама билан биргаликда аниқ бир иссиқлик ўтказувчанлик жараёнларини тўлиқ ёритади ва бир хиллилик шартлари ёки чегара шартлари деб айтилади. Одатда, температуранинг бошланғич тақсимоти $\tau=0$ вақт учун берилади.

Чегара шартлари уч хил усулда берилиши мумкин. Чегара шартларининг биринчи турида температуранинг жисм сиртида тақсимоти вақтнинг исталган ҳар қандай пайти учун берилади.

Чегара шартларининг иккинчи турида вақтнинг ҳар қандай исталган пайти учун жисм сиртидаги ҳар қайси нуқтада иссиқлик оқимининг зичлиги берилади.

Чегара шартларининг учинчи турида жисмни ўраб турган муҳит температураси ва жисм сирти билан атроф муҳит ўртасидаги иссиқлик бериш қонуниятлари берилади.

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини бир хиллилик шартлари асосида ечиш, жисмни бутун ҳажми бўйича вақтнинг исталган пайтида температура майдонини аниқлаш имконини беради.

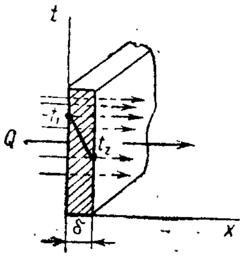
8.3. Чегара шартларининг биринчи турида стационар иссиқлик ўтка-зувчанлик. Ясси бир қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

8.3-расмда бир жинсли материалдан (ғишт, метал, ёғоч ва ҳоказо) ишланган қалинлиги δ бўлган ясси бир қатламли девор кўрсатилган.

Материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти χ температурага боғлиқ эмас, деб қабул қиламиз. Деворнинг ташқи сиртларида температуралар ўзгармас $t_1>t_2$ ҳолда сақлаб турилади; температура фақат девор сиртига перпендикуляр бўлган ўқ x йўналишидагина ўзгаради, яъни температура майдони бир ўлчамли, температура градиенти dt/dx га тенг. Девор орқали ўтадиган иссиқлик оқимининг зичлигини топамиз ва температуранинг девор қалинлиги бўйича ўзгариш тавсифини аниқлаймиз. Девор ичида иккита изотермик сирт билан чегараланган, қалинлиги dx бўлган элементар қатламни ажратамиз. Бу қатлам учун Фурье тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$q=-\lambda\frac{dt}{dx} \qquad (8.16)$$

$$\text{ёки} \quad dt=-\frac{q}{\lambda}dx \quad \text{ва} \quad t=-\frac{q}{\lambda}dx+c$$



8.3-расм. Ясси бир қатламли девор.

Интеграллаш доимийси C чегара шартларидан аниқланади: $x=0$ бўлганда $t=t_1$. Бундан $C=t_1$, бинобарин тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$t = -\frac{q}{\lambda}x + t_1$$

Бу тенгламадан кўриб чиқилаётган девор орқали ўтувчи иссиқлик оқимининг зичлигини аниқлаш мумкин. Ушбу тенгламага $x=\delta$ қийматни қўйсак $t=t_2$ бўлади, бундан

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{\delta}\Delta t \qquad (8.17)$$

Ясси деворда иссиқлик оқимининг зичлиги иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти c га, температуралар фарқи (t_1-t_2) га тўғри пропорционал ва девор қалинлиги d га тескари пропорционал бўлади. Шуни назарда тутиш керакки, иссиқлик оқими температуранинг абсолют қиймати билан эмас, балки уларнинг фарқи -иссиқлик босими $t_1-t_2=\Delta t$ билан аниқланади.

χ/δ нисбат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги дейилади; унинг ўлчамлиги [Вт/(м^2·град)]. (8.17) тенгликни бошқача кўринишда ёзиш мумкин:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\delta / \chi} \qquad (8.18)$$

Девор қалинлигининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига нисбати δ/χ деворнинг термик қаршилиги дейилади.

(8.17) формуладан деворнинг ясси сирти F орқали τ вақт ичида узатилган умумий иссиқлик миқдори Q нинг қийматини топиш мумкин.

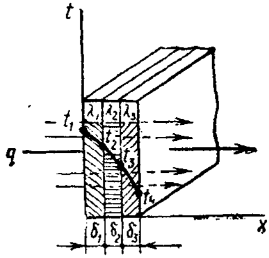
$$Q = qF\cdot\tau = \frac{\chi}{\delta}\Delta t F\tau \qquad (8.19)$$

Агар (8.16) формулага (8.17) формуладан q нинг қийматини келтириб қўйсак, температура эгри чизиғининг тенгламасини олиш мумкин.

$$t = t_1 - \frac{\Delta t}{\delta}x \qquad (8.20)$$

Бу тенглама тўғри чизиқ тенгламаси дейилади. Шундай қилиб c нинг қиймати ўзгармас бўлганда температура бир жинсли девор қалинлиги бўйлаб чизиқли ўзгаради. Агар c температурага боғлиқ бўлса, ҳисоблаш формулалари бирмунча мураккаб бўлади.

8.3.1. Ясси кўп қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги



8.4-расм. Ясси уч қатламли девор

Амалда иссиқлик ўтказувчанлиги турлича бўлган материаллардан ясалган бир неча қатламли ясси девор орқали иссиқлик узатиш жараёнининг аҳамияти анча муҳим. Масалан, буғ қозонининг ташқи томонидан шлаклар билан, ички томонидан эса қуйқа билан қопланган металл девори уч қатламли бўлади.

Ясси уч қатламли девор (8.4-расм) орқали иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқлик узатиш жараёнини кўриб чиқамиз.

Бундай деворнинг барча қатламлари бир-бирига зич ёпишиб туради. Қатламларнинг қалинлиги δ_1, δ_2 ва δ_3 билан, ҳар қайси материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти эса тегишлича χ_1, χ_2 ва χ_3 билан белгиланган. Ташқи сиртларнинг температуралари t_1 ва t_4 ҳам маълум. t_1 ва t_3 температуралар номаълум бўлсин.

Биз стационар ҳолни кўриб чиқаётганлигимиз туфайли иссиқлик оқимининг зичлиги q катталиги жиҳатдан ўзгармас ва барча қатламлар учун бир хил бўлади. Шу сабабли ҳар қайси девор қатлами учун (8.17) формула асосида қуйидагича ёзиш мумкин:

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1}(t_1 - t_2); \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2}(t_2 - t_3); \quad q = \frac{\lambda_3}{\delta_3}(t_3 - t_4)$$

Бу тенгламадан ҳар қайси қатламда температуранинг ўзгаришини аниқласа бўлади:

$$\left.\begin{aligned} t_1 - t_2 &= q\delta_1/\lambda_1 \\ t_2 - t_3 &= q\delta_2/\lambda_2 \\ t_3 - t_4 &= q\delta_3/\lambda_3 \end{aligned}\right\} \qquad (8.21)$$

Бундан $t_1 - t_4 = \Delta t = q\left[\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}\right]$

Бу нисбатдан кўп қатламли девор орқали ўтадиган солиштирма иссиқлик оқими q нинг катталигини аниқлаш мумкин:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3} \qquad (8.22)$$

n қатламли девор учун (8.22) формула қуйидаги кўринишда ёзилади.

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\sum_{i=1}^{n} \delta_i / \lambda_i}$$

(8.22) тенгламадан кўп қатламли ясси деворнинг умумий термик қаршилиги ҳар қайси қатлам термик қаршиликларининг йиғиндисига тенг, деган хулоса келиб чиқади:

$$R=\delta_1/\lambda_1+\delta_2/\lambda_2+\delta_3/\lambda_3+\ldots+\delta_n/\lambda_n.$$

(8.21) ва (8.22) формулалар асосида номаълум температуралар t_2 ва t_3 нинг қийматларини топиш мумкин:

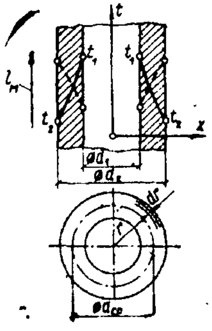
$$t_2=t_1-q\,\delta_2/\lambda_2 \qquad t_3=t_2-q\,\delta_2/\lambda_2=t_1-q\left[\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}\right]$$

ёки

$$t_3=t_4+q\,\delta_3/\lambda_3$$

χ=const бўлганда деворнинг ҳар қайси қатламида температуранинг тақсимланиши тўғри чизиқ қонунига бўйсунади, кўп қатламли девор учун эса синиқ чизиқ кўринишида бўлади.

8.3.2. Бир қатламли цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги



8.5-расм. Бир қатламли цилиндрик девор.

Иссиқлик машиналари ва иссиқлик алмашинув аппаратлари деворининг сиртлари кўпинча концентрик жойлашган иккита цилиндрик сирт (қувурлар, аппаратларнинг корпуслари, двигателнинг цилиндрлари ва шунга ўхшаш) билан чегараланган бўлади.

8.5-расмда узунлиги l бўлган қувур бўлаги кўрсатилган. Унинг ички диаметри d_1 ва ташқи диаметри d_2 Материалнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ўзгармас ва χ га тенг. Қувурнинг ички ва ташқи сиртлари температуралари t_1 ва t_2 га тенг ва $t_1>t_2$. Температура фақат радиал йўналишида ўзгаради. Текширилаётган девор ичидан радиуси r ва қалинлиги dr бўлган элементар цилиндрик қатлам ажратамиз. У ҳолда Фурье қонунига асосан шу қатламдан вақт бирлиги ичида ўтадиган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг.

$$Q = -\chi S \frac{dt}{dr} = -\chi 2\pi r l \frac{dt}{dr} \quad (8.23)$$

бундан

$$dt = -\frac{Q}{2\pi\chi l}\frac{dr}{r} \text{ ва } t = -\frac{Q}{2\pi\chi l}\ln r + c \quad (8.24)$$

Чегара шартларига асосан: $r=r_1$; $t=t_1$ ва $r=r_2$ да $t=t_2$
У ҳолда

$$t_1 = -\frac{Q}{2\pi\chi l}\ln r_1 + c \quad (8.25)$$

$$t_2 = -\frac{Q}{2\pi\chi l}\ln r_2 + c \quad (8.26)$$

бу тенгликдан

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\chi l}(\ln r_2 - \ln r_1) = \frac{Q}{2\pi\chi l}\ln\frac{r_2}{r_1}$$

ёки

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{2\pi\chi l}\ln\frac{d_2}{d_1}$$

бундан

$$Q = \frac{2\pi\chi l}{\ln\frac{d_2}{d_1}}\Delta t \quad (8.27)$$

Олинган тенглама цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини ҳисоблаш формуласи бўлиб, у $t_1<t_2$ ҳол учун ҳам тўғридир.

Цилиндрик девор қалинлиги бўйича температуранинг ўзгаришини аниқлаш учун (8.24) тенгликка (8.25) тенгликдан С нинг қийматини ва (8.27) формуладан Q нинг қийматини қўямиз:

$$t_x = -\frac{2\pi\chi\ell\Delta t}{\ln\frac{d_2}{d_1}2\pi\chi\ell}\ln r_x + t_1 + \frac{2\pi\chi\ell\Delta t}{\ln\frac{d_2}{d_1}2\pi\chi\ell}\ln r_1$$

ёки

$$t_x = t_1 - \frac{\Delta t}{\ln\frac{d_2}{d_1}}\ln\frac{d_x}{d_1} \quad (8.28)$$

Бу тенглик логарифмик эгри чизиқнинг тенгламаси бўлиб, $t<t_2$ да эгри чизиқнинг эгрилиги юқорига йўналган бўлади.

Цилиндрик девор учун иссиқлик оқимининг зичлиги ички юзанинг

бирлигига q_1 ёки ташқи юзанинг бирлигига q_2, кўпинча қувурнинг узунлик бирлигига q_l нисбатан олинади.

Охирги ҳол учун

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{2\pi\lambda}{\ln\frac{d_2}{d_1}}\Delta t \qquad (8.29)$$

q_1, q_2 ва q_l катталиклар орасидаги нисбат қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$Q = q_1\pi d_1 = q_2\pi d_2 = q\ .$$

ёки

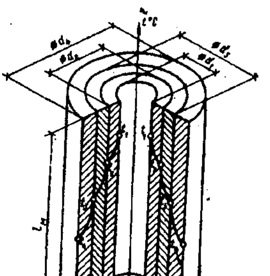
$$q_l = \pi d_1 q_1 = \pi d_2 q_2,$$

бундан

$$q_1 = \frac{q_l}{\pi d_1} \quad ва \quad q_2 = \frac{q_l}{\pi d_2}$$

Қувурнинг узунлик бирлигига нисбатан олинган иссиқлик оқими ql иссиқлик оқимининг чизиқли зичлиги дейилади ва Вт/м да ўлчанади.

8.3.3. Кўп қатламли цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги



8.6–расм. Кўп қатламли цилиндрик девор.

Амалда бир қатламли цилиндрик деворлар кам учрайди. Одат-да қувур сирти қўйқа, шлак, ёғ ёки иссиқлик изоляция қатлами билан қопланган бўлади. Юқоридаги барча ҳолларда кўп қатламли цилинд-рик девор билан иш қилишга тўғри келади.

8.6-расмда уч қатламли цилиндрик девор тасвирланган.

Унинг геометрик ўлчамлари, ҳар бир қатламнинг иссиқлик ўтка-зувчанлиги, ички ва ташқи сирт температуралари t_1 ва t_4 маълум, қатламлар тегиб турган жойлардаги температура t_2 ва t_3 номаълум.

Стационар тартибда деворнинг ҳар қайси қатлами орқали ўтадиган иссиқлик оқими катталиги жиҳатдан ўзгармас ва барча қатламлар учун бир хил бўлади.

У ҳолда (8.29) формулага асосан қуйидагиларни ёзиш мумкин:

Биринчи қатлам учун:

$$q_l = \frac{2\pi\lambda_1}{\ln\frac{d_2}{d_1}}(t_1 - t_2)$$

иккинчи қатлам учун;

$$q_\ell = \frac{2\pi\chi_2}{\ln\frac{d_3}{d_4}}(t_2 - t_3)$$

учинчи қатлам учун

$$q_\ell = \frac{2\pi\chi_1}{\ln\frac{d_4}{d_1}}(t_1 - t_4)$$

Юқоридаги тенгламалардан ҳар бир қатламдаги температура ўзгаришини аниқлаймиз:

$$\left.\begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{q_\ell}{2\pi\chi_1}\ln\frac{d_2}{d_1} \\ t_2 - t_3 &= \frac{q_\ell}{2\pi\chi_2}\ln\frac{d_3}{d_2} \\ t_3 - t_4 &= \frac{q_\ell}{2\pi\chi_3}\ln\frac{d_4}{d_3} \end{aligned}\right\} \qquad (8\text{-}30)$$

бундан

$$t_1 - t_4 = \Delta t = q_\ell\left[\frac{1}{2\pi\chi_1}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\chi_2}\ln\frac{1}{2\pi\chi_3}\ln\frac{d_4}{d_3}\right]$$

У ҳолда

$$q_\ell = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\pi\chi_1}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\chi_2}\ln\frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{2\pi\chi_3}\ln\frac{d_4}{d_3}} \qquad (8.31)$$

n қатламли девор учун:

$$q_\ell = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{2\pi\chi_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}} \qquad (8.32)$$

Номаълум бўлган t_2 ва t_3 температураларни аниқлаш учун (8.31) тенгламадан ql ни (8.30) тенгликка қўйиш керак.

8.3.4. Шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Иссиқлик оқими шарсимон девордан ўтади ва иссиқлик манбаи шарнинг ичида жойлашган деб ҳисоблаймиз. Температура фақат радиус бўйлаб ўзгаради. Ички сирт температураси $t'_{ст}$ ташқи сирт температураси $t''_{ст}$ деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти χ=const га тенг.

Фурье қонунига асосан радиуси r ва қалинлиги dr бўлган шардан ўтаётган иссиқлик оқими қуйидагига тенг бўлади:

$$Q = -\chi F(dt/dr) = -\chi 4\pi r^2 (dt/dr)$$

ёки

$$dt = -(Q/4\pi\chi)\cdot(dr/r^2)$$

Охирги тенгламани t ва r бўйича интеграллаймиз ва чегара шартларидан $r=r_1$ да $t=t'_{ст}$, $r=r_2$ да $t=t''_{ст}$ ни аниқлаймиз. У ҳолда:

$$Q = \frac{4\pi\chi(t'_{ст} - t''_{ст})}{(1/r_1 - 1/r_2)} = \frac{2\pi\chi(t'_{ст} - t''_{ст})}{(1/d_1 - 1/d_2)} \quad (8.33)$$

8.3.5. Ихтиёрий шаклдаги жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Юқорида кўриб чиқилган мавзулардан кўриниб турибдики, турли шаклдаги жисмлар учун маълум бир иссиқлик ўтказувчанлик тенгла-малари мавжуд.

Ихтиёрий шаклдаги жисмдан ўтаётган иссиқлик миқдорини қуйидаги тенглама ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$Q = \frac{\chi}{\delta} F_{ўрт}(t'_{ст} - t''_{ст}) \quad (8.34)$$

бу ерда Fўрт - ихтиёрий шаклдаги жисм юзаси. Ясси ва цилиндрик деворлар учун $F_2/F_1<2$ (F_1 - жисмнинг ички юзаси; F_2 - жисмнинг ташқи юзаси) бўлганда

$$F_{ўрт}=(F_1+F_2)/2 \quad (8.35)$$

Цилиндрик сиртлар учун $F_2/F_1>2$ бўлганда

$$F_{ўрт}=(F_2-F_1)/2{,}3\ \lg F_2/F_1 \quad (8.36)$$

Шарсимон девр учун

$$F_{ўрт} = \sqrt{F_1 \cdot F_2} \quad (8.37)$$

Юқорида келтирилган барча формулалар тахминий ҳисоблар учун қўлланилади.

Мураккаб шаклга эга бўлган жисмларни иссиқлик ўтказувчанлигини ҳисоблашда, одатда, алоҳида элементлар бўйича ҳисоблаш олиб борилади. Лекин, бундай усул ҳам тахминий характерга эга. Шунинг учун, мураккаб объектларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ҳақидаги аниқ маълумотлар тажриба йўли билан олинади. Агар девор температураси ҳар хил жойларда турлича бўлса, у ҳолда деворнинг ҳисобланган ўртача температурасини аниқлаш лозим:

$$t_{\text{ўрт}} = \frac{F_1 \cdot t_1 + F_2 \cdot t_2 + \ldots + F_n \cdot t_n}{F_1 + F_2 + \ldots F_n} \qquad (8.38)$$

бу ерда F_1, F_2 ... F_n - температураси ўзгармас бўлган девор қисмлари; t_1, t_2,...t_n - алоҳида қисмлар температураси.

8.4. Чегара шартларининг учинчи турида стационар иссиқлик ўтказувчанлик. Иссиқлик узатиш коэффициенти.

8.4.1. Ясси бир қатламли ва кўп қатламли девор орқали иссиқлик узатиш

Иссиқликни иссиқ муҳитдан совуқ муҳитга улар орасидаги ажратувчи қаттиқ девор орқали узатишга иссиқлик узатиш дейилади.

Саноатнинг исталган соҳасида қўлланиладиган турли иссиқлик алмашинув қурилмаларида иссиқлик ташувчилар ўртасидаги иссиқлик алмашинуви иссиқлик узатиш йўли билан амалга ошади.

Ажратувчи девор иссиқликни яхши ўтказиши лозим бўлса, у иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлган материалдан тайёрланади. Бошқа ҳолларда, масалан, иссиқлик исрофларини камайтириш лозим бўлса, девор иссиқлик изоляция хоссалари яхши бўлган материалдан тайёрланади.

Иссиқлик узатиш жараёнининг асосий масаласи, бу вақт бирлиги ичида иссиқлик ташувчилар ўртасидаги ажратувчи девор орқали узатиладиган иссиқлик миқдорини аниқлашдир.

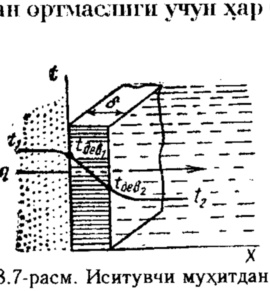
Бундан ташқари иссиқлик узатиш жараёнини ўрганишда қуйидаги масалалар ҳам кўриб чиқилади:

· берилган иссиқлик миқдорига қараб, иссиқлик ташувчилар ўртасидаги деворнинг зарур бўлган юзасини аниқлаш;

· материални ички температураси максимал йўл қўйилган қийматидан ортмаслиги учун ҳар бир қатлам сиртидаги температурани ҳисоблаш.

Иссиқлик узатиш ниҳоятда мураккаб жараён бўлиб, унда иссиқлик барча усуллар; иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва нурланиш би-лан узатилади.

Ҳақиқатдан ҳам, девор бўлиши муносабати билан иссиқлик узатиш уч жараёндан ташкил топади. Биринчи жараён- иссиқликни конвекция усули билан иссиқ муҳитдан деворга узатилиши. Конвекция ҳар доим иссиқлик ўтказувчанлик билан бирга, баъзида эса нурланиш билан бирга рўй беради. Иккинчи жараён - иссиқликни девордан иссиқлик ўтказувчанлик усули билан узатилиши.



8.7-расм. Иситувчи муҳитдан иситиладиган муҳитга ясси девор орқали иссиқликнинг узатилиши

Учинчи жараён-иссиқликни конвекция йўли билан деворнинг иккинчи сиртидан совуқ муҳитга узатилиши.

Қайноқ иссиқлик ташувчидан (иссиқ муҳит) деворга берилган иссиқлик миқдори Ньютон-Рихман формуласидан аниқланади:

$$Q = \alpha_1 F(t_1 - t_{дев}) \qquad (8.38)$$

бу ерда: α_1-температураси t_1 бўлган қайноқ иссиқлик ташувчидан девор сиртига иссиқлик бериш коэффициенти; F- ясси деворнинг юзаси.

Иссиқлик ўтказувчанлик усули билан девор орқали узатилган иссиқлик оқими қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Q = \frac{\chi}{\delta} F(t_{дев_1} - t_{дев_2}) \qquad (8.39)$$

Деворнинг иккинчи сиртидан совуқ муҳитга узатилган иссиқ-лик миқдори:

$$Q = \alpha_2 F(t_{дев_1} - t_{дев_2}) \qquad (8.40)$$

бу ерда: α_2- деворнинг иккинчи сиртидан совуқ муҳитга ис-сиқлик бериш коэффициенти.

Кўриб чиқилаётган иссиқлик узатиш жараёни стационар тартибда борганлиги сабабли, девор қанча иссиқлик олса, шунча узатади. Юқоридаги тенгламаларни температуралар фарқига нисбатан ечамиз:

$$\left.\begin{aligned} t_1 - t_{дев_1} &= \frac{Q}{\alpha_1 \cdot F} \\ t_{дев_1} - t_{дев_2} &= \frac{\delta}{\chi}\frac{Q}{F} \\ t_{дев_2} - t_2 &= \frac{Q}{\alpha_2 F} \end{aligned}\right\}$$

Тенгликларни ҳадма-ҳад қўшиб иссиқлик оқимини

$$Q = F(t_1 - t_2) / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\chi} + \frac{1}{\alpha_2}\right) \qquad (8.41)$$

ёки иссиқлик оқимининг зичлигини аниқлаймиз:

$$q = (t_1 - t_2) / \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\chi} + \frac{1}{\alpha_2}\right) \qquad (8.42)$$

(8.42) тенгламадаги $1/\left(\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\chi}+\frac{1}{\alpha_2}\right)$ катталик к харфи билан белгиланади ва иссиқлик узатиш коэффициенти деб айтилади:

$$k=1/\left(\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\chi}+\frac{1}{\alpha_2}\right) \tag{8.43}$$

у ҳолда $Q=kF(t_1-t_2)$

ёки

$$q=k(t_1-t_2) \tag{8.44}$$

Иссиқлик узатиш коэффициенти деворнинг юза бирлигидан вақт бирлиги ичида қайноқ иссиқлик ташувчидан совуқ иссиқлик ташувчига, уларнинг температуралари фарқи 10 бўлгандаги узатилган иссиқлик миқдорига тенг.

(8.44) тенглама иссиқлик узатиш тенгламаси дейилади. k ни аниқлаш учун, аввало α_1ва α_2 ларни аниқлаш лозим. к нинг қиймати ҳар доим энг кичик α қийматидан ҳам кичикроқ бўлади. Иссиқлик узатиш коэффициентига тескари катталик иссиқлик узатилишининг термик қаршилиги дейилади:

$$R=\frac{1}{k}=\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\chi}+\frac{1}{\alpha_2} \tag{8.45}$$

Агар иссиқлик кўп қатламли девор орқали узатилган бўлса, у ҳолда (8.42) формуланинг махражига барча қийматларнинг термик қаршиликларининг йиғиндисини қўйиш лозим:

$$Q=\frac{F(t_1-t_2)}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{i=n}\frac{\delta_i}{\chi_i}+\frac{1}{\alpha_2}} \tag{8.46}$$

$$q=\frac{Q}{F}=\frac{F(t_1-t_2)}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{i=n}\frac{\delta_i}{\chi_i}+\frac{1}{\alpha_2}}$$

Кўп қатламли даврнинг иссиқлик узатиш коэффициенти:

$$k=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{i=n}\frac{\delta_i}{\chi_i}+\frac{1}{\alpha_2}} \tag{8.47}$$

ва умумий термик қаршилиги:

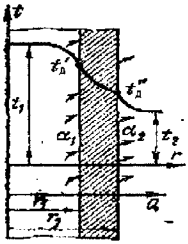
$$R=\frac{1}{k}=\frac{1}{\alpha_1}+\sum_{i=1}^{i=1}\frac{\delta_i}{\chi_i}+\frac{1}{\alpha_2} \tag{8.48}$$

Ясси девор сиртларидаги температураларни аниқлаймиз:

Агарда α ва k маълум ва бўлса, $t_{дев}$, ва $t_{дев2}$ ларни қуйидаги формулалардан аниқлаш мумкин:

$$\alpha_1(t_1 - t_{дев1}) = k(t_1 - t_2),$$
$$\alpha_2(t_{дев2} - t_2) = k(t_1 - t_2), \qquad (8.49)$$
$$t_{дев1} = t_1 - \frac{k}{\alpha_1} k(t_1 - t_2),$$
$$t_{дев2} = t_{ддев2} \frac{k}{\alpha_2} + (t_1 - t_2).$$

8.4.2. Бир қатламли ва кўп қатламли цилиндрик девор орқали иссиқлик узатиш



8.8-расм.

Бир жинсли цилиндрик девор орқали температураси t_1 ва ис-сиқлик бериш коэффициенти α_1 бўлган қайноқ иссиқлик ташувчидан, температураси t_2 ва иссиқлик бериш коэффициенти α_2 бўлган совуқ иссиқлик ташувчига иссиқлик узатилаётган бўлсин (8.8-расм).

У ҳолда иссиқлик оқими учун қуйидаги учта тенгламани ёзиш мумкин:

$$Q = \alpha_1 \pi d_{ич} l (t_1 - t_д')$$

$$Q = \frac{\pi l}{\frac{1}{2\chi}\ln\frac{d_{ташқи}}{d_{ич}}}(t_д' - t_д'')$$

$$Q = \alpha_2 \pi d_{ташқи} l (t_д'' - t_2)$$

Бу уч тенгламани температуралар фарқига нисбатан ечиб, кейин ҳадма-ҳад қўшиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$Q = \frac{\pi l (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_{ич}} + \frac{1}{2\chi}\ln\frac{d_{ташқи}}{d_{ич}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{ташқи}}} \qquad (8.50)$$

бу ерда

$$k_ч = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_{ич}} + \frac{1}{2\chi}\ln\frac{d_{ташқи}}{d_{ич}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{ташқи}}} \qquad (8.51)$$

иссиқлик узатишнинг чизиқли коэффициенти деб айтилади, унинг бирлиги Вт/(м·град).

Цилиндрик девордан ўтаётган иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидагига тенг.

$$q_ц = \frac{Q}{l} = k_ц\pi(t_1 - t_2)$$

Иссиқлик узатилишининг чизиқли коэффициенти, узунлиги 1 м бўлган қувурдан вақт бирлиги ичида қайноқ иссиқлик ташувчидан совуқ иссиқлик ташувчига, уларнинг температуралари фарқи 1° бўлганда узатилаётган иссиқлик миқдорига тенг. Шунинг учун (8-32) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q = к_ц\ \pi\ l\ (t_1 - t_2) \qquad (8.52)$$

Кўп қатламли цилиндрик девордан ўтаётган иссиқлик оқими қуйидагига тенг:

$$Q = \frac{\pi l(t_1 - t_2)}{\frac{1}{d_1 d_{ич}} + \sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{2\chi_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{таш}}} \qquad (8.53)$$

Ички ёки ташқи сиртларга нисбатан олинган иссиқлик оқими-нинг зичлиги қуйидаги тенгламалардан аниқланади:

$$q_{ц1} = \frac{Q}{\pi d_1 l} = \frac{k_ц}{d_1}(t_1 - t_2)$$

$$q_{ц2} = \frac{Q}{\pi d_2 l} = \frac{k_ц}{d_2}(t_1 - t_2)$$

Иссиқлик узатишнинг чизиқли коэффициентига тескари бўлган катталикка иссиқлик узатишнинг чизиқли термик қаршилиги деб айтилади:

$$R_ц = \frac{1}{Q_ц} = \frac{1}{\alpha_1 d_{ич}} + \sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{2\chi_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{таш}} \qquad (8.54)$$

бу ерда $\frac{1}{\alpha_1 d_{ич}}$ ва $\frac{1}{\alpha_2 d_{таш}}$ -ташқи термик қаршиликлар; $\sum_{i=1}^{i=n}\frac{1}{2\chi_i}\ln\frac{d_{i+1}}{d_i}$ - кўп қатламли цилиндрик де-ворнинг термик қаршилиги; Rц нинг ўлчов бирлиги м·град/Вт.

Ички сиртнинг температурасини қуйидаги формуладан аниқ-лаймиз:

$$t_b^1 = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 d_{ич}\pi l} \qquad (8.55)$$

ташқи сиртники эса:

$$t_{\partial}^{II} = t_2 + \frac{Q}{\alpha_2 d_{таш} \pi l} \quad (8.56)$$

8.4.3. Цилиндрик деворнинг критик диаметри

Маълумки, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти 0,2 Вт/(м·град) дан кичик бўлган материаллар иссиқлик изоляция мате-риаллари дейилади. Бундай материалларга асбест, пўкак, кигиз, ёғоч қипиғи, шиша тола-си, торф ва шунга ўхшаш материаллар киради.

Қувурни изоляциялаш учун ишлатилаётган материалларни иссиқлик исрофларини камайтириш шарт-шароитларини кўриб чиқайлик. Цилиндрик қувур бир қатламли изоляция билан қопланган бўлсин. α_1, α_2, d_1, d_2, χ_1, χ_2, t_1 ва t_2 лар ўзгармас бўлган ҳолда, термик қаршилик изоляция қалинлиги ўзгариши билан қандай ўзгаришини кўриб чиқай-лик.

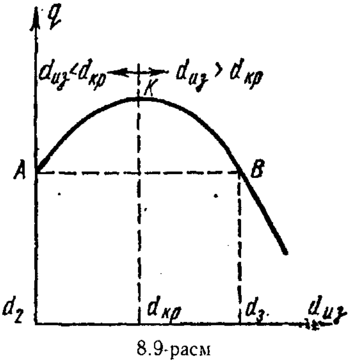
Икки қатламли цилиндрик деворнинг термик қаршилиги тенг-ламасидан

$$R_ч = \frac{1}{k_ч} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\chi_1}\ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\chi_2}\ln\frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}$$

изоляциянинг диаметри d_3 ортиши билан изоляция қатлами-нинг қаршилиги $\left(\frac{1}{2\chi_1}\ln\frac{d_1}{d_2}\right)$ ҳам ортади, лекин шу билан бир вақтда девордан ташқи муҳитга иссиқлик беришнинг термик қаршилиги камаяди $\left(\frac{1}{\alpha_2 d_3}\right)$

Юқоридаги тенгламани ўнг қисмидан d_3 бўйича биринчи ҳосилани олиб, уни нолга тенглаймиз:

$$\frac{d(R_ч)}{d(d_3)} = \frac{1}{2\chi_2 d_3} - \frac{1}{\alpha_2 d_3^2} = 0$$



8.9-расм

У ҳолда $R=f(d_3)$ эгри чизиқнинг экстремаль нуқтасига мос ке-лувчи критик диаметр қуйидаги формуладан аниқланади:

$$d_{кр} = d_{ш} = \frac{2\chi_{1ш}}{\alpha_2} \quad (8.57)$$

Бу тенгламадан кўриниб турибдики, изоляциянинг критик диаметри қувурнинг ўлчамларига боғлиқ эмас экан. У изоляциянинг иссиқлиги ўтка-зувчанлик коэффициенти қанчалик кам бўлса, шунча-лик камаяди ва а2 камай-

нши билан ортади. Юқоридаги тенгламани Rц бўйича иккинчи ҳосиласи нолдан катта, демак, критик диаметр термик қаршиликнинг минимумига ва иссиқлик оқимининг максимумига мувофиқ келади (8.9-расм).

(8.57) тенглама таҳлили шуни кўрсатадики, dиз ортса, лекин dкр дан кичик бўлиб қолса, у ҳолда иссиқлик исрофлари ортади ва изоляциясиз қувурнинг иссиқлик исрофларидан ҳам юқори бўлади (АК эгри чизиқ).

$d_{из}=d_{кр}$ бўлганда (К нуқта) исрофлар максимал бўлади. Изоляция диаметрини бундан кейинги ортиши билан dиз>dкр, иссиқлик исрофлари $d_{из}=d_{кр}$ ҳолга қараганда камаяди (ВК эгри чизиқ).

Фақат $d_{из}=d_{з}$ бўлгандагина, иссиқлик исрофлари яна изоляцияланган қувурнинг иссиқлик исрофлари каби бўлади. Демак, изоляция самарали ишлаши учун, критик диаметр изоляциясиз қувурнинг диаметридан кичик бўлиши $d_{кр} \leq d_2$ керак (8.9-расм).

Шундай қилиб изоляция деворнинг иссиқлик исрофларини камайтириши учун

$$\chi_{иг} \leq \frac{\alpha_2 d_2}{2}$$

бўлиши лозим.

(8.39) тенгламадан кўриниб турибдики, агар пўлат қувур учун c=46 Вт/(м·К) ва α_2 =14 Вт/(м·К) бўлса, у ҳолда $d_{кр}$=2·46:14=6,6 м бўлади.

Шундай қилиб, металл қувурлар учун критик диаметрнинг че-гара қиймати ниҳоятда катта бўлиб, у метрларда ўлчанади. Диаметр-нинг бундан кейинги ортиши эса, қувурдан узатилаётган иссиқликни камайишига олиб келади. Шу диаметр чегарасида эса, металл қувур-нинг қалинлиги ортган сари ундан иссиқлик кўпроқ иссиқ муҳитдан совуқ муҳитга узатилади.

Агар қувур иссиқлик изоляция материалидан, масалан асбест-дан (χ=0,167 Вт/(м·К)) тайёрланган бўлса, у ҳолда α_2 нинг олдинги қийматида

(α_2=14 Вт(м²·К))

$d_{кр}$=2·0,167:14=0,024м=24 мм бўлади.

Яъни, ташқи диаметри 24 мм дан ортиқ бўлган бундай қувурлар учун, изоляция қалинлиги ортиши билан иссиқлик узатиш камаяди.

Бетон қувурлар учун χ= 1,17 Вт/(м·к) ва α_2=14 Вт/(м²·к) да $d_{кр}\approx$160 мм бўлади.

8.4.4. Шарсимон девор орқали иссиқлик узатиш

Стационар тартибда ва чегара шартларининг учинчи турида қуйидагилар маълум бўлсин: шарнинг ички диаметри d_1, ташқи диаметри d_1, шар ичидаги иссиқ манба температураси t_1 ва совуқ манба температураси

t_2, иссиқ муҳитдан шар ички сиртига иссиқлик бериш коэффициенти α_1 ва шарнинг ташқи сиртидан атроф муҳитга иссиқлик бериш коэффициенти α_2 бўлсин.

Стационар ҳолда барча изотермик сиртлар учун иссиқлик оқими ўзгармас бўлади:

$$Q = \alpha_1 \pi d_1^2 (t_1 - t'_c)$$

$$Q = \frac{2\pi\chi}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} (t'_c - t''_c)$$

$$Q = \alpha_2 \pi d_2^2 (t''_c - t_2)$$

Бу тенгламаларни температуралар фарқига нисбатан ечиб ва ҳадма-ҳад қўшиб иссиқлик оқимини қийматини топамиз:

$$Q = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_1^2} + \frac{1}{2\lambda}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 d_2^2}}$$

ёки

$$Q = k_{ш} \cdot \pi(t_1 - t_2) \qquad (8.58)$$

Бу ерда кш шарсимон деворнинг иссиқлик узатиш коэффици-енти бўлиб, унинг бирлиги, Вт/град

$$k_{ш} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1^2} + \frac{1}{2\chi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 d_2^2}} \qquad (8.59)$$

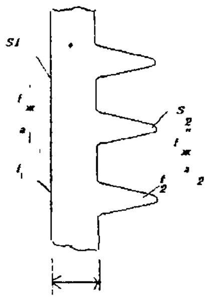
$k_{ш}$ га тескари бўлган бўлган катталикка шарсимон деворнинг термик қаршилиги деб айтилади:

$$R_{ш} = \frac{1}{k_{ш}} = \frac{1}{\alpha_1 d_1^2} + \frac{1}{2\chi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_2 d_2^2} \qquad (8.60)$$

8.4.5. Қовурғасимон девор орқали иссиқлик узатиш

Агар деворнинг бир томони иссиқлик бериш коэффициенти юқори бўлган суюқлик билан ювиб турилса, иккинчи томони эса иссиқлик бериш коэффициенти кичик бўлган газ билан ювиб турилса, у ҳолда иссиқлик беришнинг термик қаршиликларини текислаш учун қовурғасимон сиртлар қўлланилади. Деворни қовурғалаш унинг иссиқлик алмашишининг юзасини орттиради ва натижада иссиқлик узатишнинг термик қаршилиги камайиб, иссиқлик оқими ортади.

8.10-расмда қовурғасимон девор орқали иссиқлик узатилишининг схемаси тасвирланган.



8.10-расм

Бу деворнинг силлиқ томони юзаси S_1, қовурғасимон томонининг юзаси S_2, деворни ювиб ўтаётган суюқликлар температураси $t`_c$ ва $t``_c$ ($t`_c > t``_c$) иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 ($\alpha_2 << \alpha_1$), девор сирти температуралари t_2 ва t_1, деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти l ва қалинлиги d бўлсин.

Бу девор орқали иссиқлик узатишни қуйидаги тенгламалар билан ифодаланиши мумкин.

$$Q=\alpha_1 S_1(t`_c - t_1); \quad Q = \frac{\lambda}{\delta} S_1(t_1 - t_2); \quad Q = \alpha_2 S_2 (t_2 - t''_c)$$

Юқоридаги тенгламаларни температура ўзгаришларига нисбатан ечиб ва хадма-хад қўшиб қуйидагига эга бўламиз:

$$Q = \frac{t'_c - t''_c}{\frac{1}{\alpha_1 S_1} + \frac{\delta}{\lambda}\frac{1}{S_1} + \frac{1}{\alpha_2 S_2}} = k_p \Delta t \tag{8.61}$$

бу ерда Кр - қовурғасимон деворнинг иссиқлик узатиш коэффициенти

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 S_1} + \frac{\delta}{\lambda}\frac{1}{S_1} + \frac{1}{\alpha_2 S_2}} \tag{8.62}$$

иссиқлик оқимининг зичлиги деворнинг силлиқ сирти бирлиги q_1 га ва қовурғасимон сирти бирлиги q_2 га нисбатан аниқланади.

$$q_1 = \frac{Q}{S_1} = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\frac{S_1}{S_2}} = k_1 \Delta t \tag{8.63}$$

бу ерда k_1-қовурғасимон деворнинг силлиқ сиртига нисбатан олинган иссиқлик узатиш коэффициенти:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\frac{S_1}{S_2}}$$

ва $$q_2 = \frac{Q}{S_2} = \frac{\Delta t}{(1/\alpha_1)(s_2/s_1) + (\delta/\lambda)(s_2/s_1) + 1/\alpha_2} = k_2 \Delta t \tag{8.64}$$

бу ерда k_2 деворнинг қовурғасимон сиртига нисбатан олинган иссиқлик узатиш коэффиценти:

$$k_2 = \frac{1}{(1/\alpha_1)(s_2/s_1) + (\delta/\lambda)(s_2/s_1) + 1/\alpha_2}$$

S_2/S_1 нисбатга қовурғаланиш коэффициенти дейилади. Юқоридаги формулаларни тақрибан келтириб чиқардик, чунки уларни келтириб чиқаришда t_2 ва α_2 ларни қовурғасимон сирт бўйлаб ўзгармас деб ол-дик. Аслида қовурғанинг чўққи қисми асосига қараганда совуқроқ бўлади ва демак, α_2 қовурғасимон сирт бўйлаб турлича бўлади.

Ташқи томони қовурғаланган қувур учун (8.64) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$q_т=к_т(t_1-t_2) \qquad (8.65)$$

ва

$$k_т=\frac{1}{\left[\frac{1}{\alpha_1 d_1}+\frac{1}{2\lambda}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{\alpha_2 d_2 S_2/S_1}\right]}$$

бу ерда d_1 - қувурнинг ички диаметри;
d_2 - қувурнинг ташқи диаметри.

Қовурғасимон сиртлар иссиқлик беришни жадаллаштириш мақсадида техникада кенг қўлланилади. Масалан, иситиш асбобларининг асосан ташқи сиртлари қовурғаланади, чунки девордан ҳавога иссиқлик бериш коэффициенти (α_2=12-60Вт/(м^2·К)) иссиқ сувдан деворга иссиқлик бериш коэффициенти

(α_2=2500-6000Вт/(м^2·К)) дан анча кичик.

8.4.6. Иссиқлик узатишни жадаллаштириш

Иссиқлик алмашинув аппаратларини ишлатиш вақтида, шакли турлича бўлган сиртлардан ўтаётган иссиқлик оқимини орттириш кўпинча зарур бўлиб қолади. Иссиқлик узатиш тенгламаси Q=kF·Δt дан кўри-ниб турибдики, жисм сирти ўлчамлари ва суюқликлар температуралари берилган бўлса, иссиқлик оқими иссиқлик узатиш коэффициентига боғлиқ бўлади. Лекин фақатгина иссиқлик узатиш коэффициентининг қийматини билиш, иссиқлик узатиш жараёнини ўрганиш учун етарли бўлмайди.

Барча термик қаршиликларнинг ўзаро нисбатини таҳлил қилиб тўғри хулоса чиқариш мумкин ва натижада иссиқлик оқимини жиддий ўзгартиришга имконият яратилади.

Ясси девор орқали иссиқлик узатишда иссиқлик бериш коэффициентини орттириш юпқароқ девор қўллаш, иссиқлик ўтказувчанлиги юқори бўлган материал танлашдан ва иссиқлик бериш коэффициентини кўпайтириш ҳисобига бўлиши мумкин.

Агар деворнинг термик қаршилиги кичик бўлса, ($\delta(\lambda/x\approx0)$), у ҳолда иссиқлик узатиш коэффициенти иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 ларга боғлиқ бўлади.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (8.67)$$

(8.67) тенгликдан кўриниб турибдики, к ҳар доим энг кичик қийматидан ҳам кичикроқ бўлади. Шунинг учун к ни орттириш учун энг кичик α ни кўпайтириш лозим. Агар $\alpha_1 \approx \alpha_2$ бўлса к ни орттириш учун исталган α ни кўпайтириш лозим.

Агар α нинг қийматлари катта бўлса, у ҳолда к асосан деворнинг иссиқлик узатувчанлигига боғлиқ бўлади. Цилиндрик девор орқали иссиқлик узатишда, $1/\alpha_1 d_1$ ва $\alpha/\alpha_2 d_2$ термик қаршиликлар иссиқлик бериш коэффицbентларига ва сирт ўлчамларига боғлиқ бўлади. Агар а кичик бўлса, термик қаршиликларни тегишли сиртларни орттириш ҳисобидан камайтириш мумкин.

Ясси девор учун ҳам, унинг бирор тамонини қовурғалаш ҳисобидан худди шундай натижа олиш мумкин.

Юқорида билдирилган фикрларни айрим мисоллар орқали тушунтирайлик.

Буғ қозонида ўтхона газларидан деворга иссиқлик бериш коэффицbенти α_1=30 Вт/(м^2 град); девордан қайнаётган сувга α_2=5000 Вт /(м^2 град); пўлат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффицbенти l=50 Вт/(м^2 град) ; қалинлиги d=0,02 м. Деворни ясси деб ҳисоблайлик.

Шу шароитда иссиқлик узатиш коэффицbенти к=29,5Вт/(м^2 град) га тенг, яъни у энг кичик а дан ҳам кичикроқ. Иссиқлик узатиш коэффициенти к ни девордан сувга иссиқлик бериш шароитини яхшилаш ёки юпқароқ деворни қўллаш билан орттириб бўлмайди. к ни, фақатгина ўтхона газларидан деворга иссиқлик узатишни яхшилаш ҳисобига ошириш мумкин. Иссиқлик бериш коэффициентлари а1 ва α_2 катта бўлган аппаратларда эса, иш бошқача кўринишга эга бўлади. Масалан, сув конденсаторида сув томонида α_1=5000 Вт/(м^2 град) ва буғ томонида а1 =10 000 Вт/(м2 град) бўлсин.

Агар шундай конденсаторнинг девори қалинлиги 20 мм бўлган пўлатдан тайёрланса, к=1428 Вт/(м^2 град) бўлади

Агар қалинлиги 3 мм бўлган девор олинса, у ҳолда к=2770 Вт/(м^2 град) бўлади.

Агарда пўлатни қизил мис билан алмаштириб, қалинлиги 1 мм бўлган девор олинса, у ҳолда к=3400 Вт/(м^2 град) бўлади.

Юқорида келтирилган мисолдан кўриниб турибдики, иссиқлик бериш коэффицbентларининг катта қийматларида к асосан деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигига боғлиқ бўлар экан.

Шундай қилиб, аппаратларда иссиқлик узатишни жадаллаштириш учун энг катта қаршиликни камайтиришга ҳаракат қилиш лозим.

Назорат учун саволлар

1. Иссиқлик узатиш деб нимага айтилади?
2. Иссиқлик узатишда қандай масалалар кўрилади?
3. Иссиқлик ўтказувчанликка таъриф беринг.
4. Конвекция нима?
5. Температура майдони
6. Фурье қонуни.
7. Иссиқлик оқими деб нимага айтилади?
8. Иссиқлик изоляцион материаллар.
9. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси.
10. Ясси деворлар орқали иссиқлик узатиш.

ТЎҚҚИЗИНЧИ БОБ

КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВИ

9.1. Асосий тушунчалар

Газ ёки суюқлик макрозарраларининг бир жойдан иккинчи жойга силжишида иссиқликнинг узатилиш жараёни конвекция дейилади. Конвекция (лотинча canvectia - келтириш) сочилувчан, суюқ ва газсимон моддалар қатламлари зарраларининг тартибсиз ҳаракатида намоён бўлади. Шунинг учун зарралари осон силжийдиган муҳитдагина конвекция содир бўлиши мумкин. Иссиқликнинг конвектив ва молекуляр узатилишининг биргаликда таъсир этиши туфайли бўладиган иссиқлик алмашинуви конвектив иссиқлик алмашиниш дейилади.

Бошқача айтганда, конвектив иссиқлик алмашинуви бир вақтнинг ўзида икки усул: конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан амалга оширилади. Ҳаракатланувчи муҳит ва унинг бошқа (қаттиқ жисм, суюқлик ёки газ) билан чегара сирти орасидаги конвектив ис-сиқлик алмашинувига иссиқлик бериш дейилади.

Конвектив иссиқлик бериш назариясининг асосий вазифаси оқим ювиб ўтадиган қаттиқ жисм орқали ўтадиган иссиқлик миқдорини аниқлашдир. Иссиқликнинг якуний оқими доимо температуранинг пасайиш томонига йўналган бўлади.

Иссиқлик беришни амалда ҳисоблашда Ньютон қонунидан фойдаланилади.

$$Q = \alpha F(t_c - t_{дев}) \cdot \tau \qquad (9.1)$$

Бу тенглик 1701 йили И.Ньютон томонидан олинган бўлиб, Ньютоннинг конвектив иссиқлик бериш қонуни деб айтилади.

Бу қонунга асосан суюқликдан деворга ёки девордан суюқликка ўтадиган иссиқлик миқдори Q иссиқлик алмашинувида иштирок этаётган сирт F га, температура туширии t_c - $t_{дев}$ га ва иссиқлик алмашинув вақти t га пропорционал бўлади.

Бу ерда $t_{дев}$ - девор сиртининг температураси; t_c - девор сиртини ювиб ўтадиган муҳитнинг температураси.

Суюқлик билан қаттиқ жисм орасидаги иссиқлик алмашинувининг конкрет шарт-шароитларини ҳисобга олувчи пропорционаллик коэффициенти а иссиқлик бериш коэффициенти дейилади.

(9.1) формулада F= $1м_2$ ва τ =1 сек деб қабул қилсак, бир квадрат метр юзадан ўтадиган иссиқлик оқимининг Ватт ҳисобидаги зичлигини оламиз:

$$q = \alpha(t_г - t_{дев}) \quad (9.2)$$

ёки

$$q = \frac{t_г - t_{дев}}{1/\alpha} \quad (9.2)$$

Иссиқлик бериш коэффициентига тескари бўлган $1/\alpha$ катталик иссиқлик беришнинг термик қаршилиги дейилади.

(9.3) тенгламани а га нисбатан ечсак қуйидагини оламиз:

$$\alpha = \frac{q}{tc - t_{дев}} \quad (9.4)$$

(9.4) тенгликка кўра, иссиқлик бериш коэффициенти α иссиқлик оқимининг зичлиги q нинг жисм сиртининг температураси ва теварак муҳит температураси орасидаги фарққа нисбатидан иборат.

Температура босими 1 С га тенг бўлганда иссиқлик бериш коэффициенти а сон жиҳатидан иссиқлик оқимининг зичлигига тенг бўлади.

Конвектив иссиқлик алмашинуви анча мураккаб жараён. Бу жараённи ҳисоблашда асосий масала иссиқлик бериш коэффициенти а ни аниқлашдир. Иссиқлик бериш коэффициенти α жуда кўп факторларга боғлиқ бўлиб, улардан асосийлари қуйидагилар:

9.1.1. Суюқлик оқимининг вужудга келиш сабаблари.

Вужудга келиш сабабларига қараб, суюқликнинг ҳаракати эркин ва мажбурий ҳаракатланишга бўлинади. Эркин ҳаракатланиш ёки табиий конвекция нотекис иситилган суюқликда (газда) вужудга келади.

Бунда вужудга келадиган температуралар зичликларининг фарқ қилишига ва суюқликдаги зичлиги камроқ макрозарраларнинг суюқлик юзасига қалқиб чиқишига олиб келади, бу эса ҳаракатланишни келтириб чиқаради. Эркин ҳаракатнинг жадаллиги суюқлик турига, макрозарраларининг температуралари фарқига ва жараён бўлаётган ҳажмга боғлиқ.

Суюқликнинг мажбурий ҳаракатланиши ёки мажбурий конвекция ташқи қўзғатувчилар: вентиляторлар, насослар ва шунга ўхшашларнинг таъсир этиши билан боғлиқ.

Булар ёрдамида суюқликни ҳаракатланиш тезлигини кенг кўламда ўзгартириш ва шу билан иссиқлик алмашинув тезлигини бошқариш мумкин.

9.1.2. Суюқликнинг оқиш тартиби

1884 йилда О. Рейнольдс ўзининг тажрибалари асосида, суюқликнинг ҳаракати ламинар ёки турбулент бўлиши мумкинлигини кўрсатиб берди.

Ламинар оқимда суюқликнинг зарралари аралашмасдан ҳаракатланади. Бунда оқим йўналишига нормал бўйича иссиқликнинг узатилиши асосан иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан амалга ошади. Суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлиги анча кичик (сув учун χ=0,60 Вт/(м.К)) бўлганлиги сабабли ламинар оқимда иссиқлик алмаши-нинг тезлиги катта бўлмайди.

Оқим тезлиги муайян қийматидан ортиши билан оқим тавсифи кескин ўзгаради. Бунда оқимнинг тўғри ипга ўхшаш шакли ўзгариб, тўлқинсимон шаклга киради ва ниҳоят бутунлай аралашиб кетади.

Суюқликнинг ҳаракати тартибсиз бўла бориб, оқим доимо аралашиб туради. Бундай оқим турбулент оқим дейилади.

Турбулент оқимда иссиқлик оқим ичида иссиқлик ўтказувчан-лик йўли билан, шунингдек суюқликнинг деярли барча массасининг аралашиши йўли билан тарқалади. Шунинг учун турбулент оқимда иссиқлик алмашинини ламинар оқимдагига қараганда анча катта бўлади.

Рейнольдс суюқликнинг қувурдаги оқим тартиби wd/v - ўлчамсиз комплекснинг қиймати билан аниқланишини кўрсатди. Бу комплекс Рейнольдс сони деб айтилади:

$$Re=wd/v, \qquad (9.5)$$

бу ерда w - суюқликнинг ўртача тезлиги, м/сек; d - қувур диаметри, м; v - кинематик қовушқоқлик коэффициенти, $м^2/сек$.

(9.5) формула ёрдамида исталган кесимдаги оқим учун Рейнольдс сонини ҳисоблаб чиқариш мумкин.

Рейнольдс сонини критик қиймати $R_{екр}$=2300 эканлиги тажрибадан аниқланган. $Re \leq 2300$ бўлганда оқим ламинар, $Re \geq 10000$ да эса - турбулент бўлади.

Суюқликнинг қувурлардаги ҳаракатида ўзига хос хусусиятлари бор. Тезлиги w=const бўлган суюқликни қувур бўйлаб ҳаракатини кўриб чиқайлик. (9.1-расм).

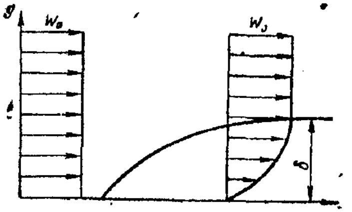
Суюқлик қувур бўйлаб оқа бошлаши билан ишқаланиш натижасида деворлар яқинидаги суюқлик зарралари деворларга ёпишади, натижада деворлар яқинида тезлик нолгача пасаяди. Суюқлик сарфи ўзгармаганлиги сабабли, тезлик қувур кесимининг ўртасида тегишлича кўпаяди. Бунда қувур деворларида гидродинамик чегара қатлам - суюқлик тезлиги w дан нолгача камаядиган қатлам ҳосил бўлади. Бу қатламнинг қалинлиги δ оқим бўйлаб ортади (9.1-расм).

Оқимнинг тезлиги ортиши билан чегара қатламнинг қалинлиги камаяди, суюқликнинг қовушқоқлиги ортиши билан эса, қатлам қалинлиги ортади.

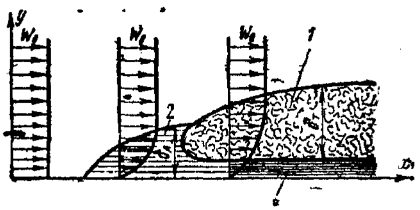
Гидродинамик чегара қатламида оқим ламинар 1 ва турбулент 2 бўлиши мумкин. (9.2-расм). Оқим тури Рейнольдс сони билан аниқланади.

Чегара қатламида оқим турбулент бўлса, у ҳолда девор яқинида оқиш ламинар бўлган жуда юпқа суюқлик қатлами ҳосил бўлади. Бу қатламни қовушоқ ёки ламинар қатламча 3 дейилади.

Суюқлик қувурга кирган пайтдан то барқарор оқим қарор топгунга қадар, чегара қатлам қалинлиги барча кесимни тўлдиргунча қувур узунлиги бўйлаб аста-секин ортиб боради. Шу пайтдан бошлаб тезликнинг ўзгармас профили юзага келади ва оқим барқарорлашади.

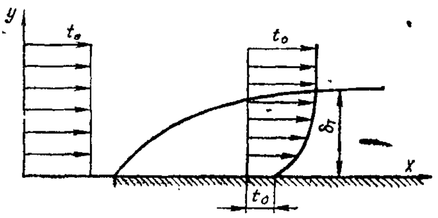


9.1-расм

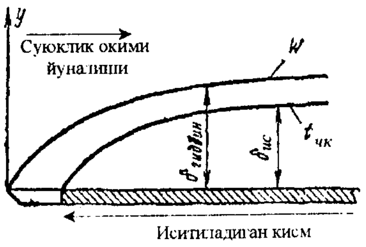


9.2-расм

Агар девор ва суюқлик температуралари бир хил бўлмаса, у ҳолда девор яқинида иссиқлик чегара қатлами ҳосил бўлади ва бу қатламда суюқликнинг барча температура ўзгаришлари рўй беради (9.3-расм).



9.3-расм



9.4-расм

Бу чегара қатламидан ташқарида суюқлик температураси to ўзгармас бўлади. Умумий ҳолда иссиқлик ва гидродинамик қатламлар қалинлиги бир-бирига мос келмаслиги мумкин (9.4-расм).

Бу қатламлар қалинликлари нисбати ўлчамсиз сон Pr=w/a билан аниқланади. Иссиқлик ўтказувчанлиги паст (масалан, ёғлар) қовушоқ суюқликлар учун Pr≈1 ва гидродинамик қатлам қалинлиги иссиқлик чегара қатлам қалинлигидан катта бўлади. Газлар учун P_r≈1 бўлиб, уларда бу қатламлар қалинликлари деярли бир хил бўлади.

Иссиқлик узатишнинг механизми ва тезлиги суюқликнинг чегара қатламидаги ҳаракатининг тавсифига боғлиқ. Агар иссиқликнинг чегара қатлам ичидаги ҳаракати ламинар бўлса, у ҳолда деворга перпендикуляр

йўналишда иссиқлик, иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан узатилади. Лекин, қатламнинг ташқи чегарасида иссиқлик асосан конвекция билан узатилади.

Иссиқлик чегара қатламида оқим турбулент бўлса, иссиқлик девор томон йўналиши бўйича асосан суюқликнинг турбулент аралашиши натижасида узатилади. Иссиқликни бундай узатилиши, иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқликни узатишга қараганда анча жадалроқдир. Лекин бевосита девор олдидаги ламинар қатламчада иссиқлик деворга иссиқлик ўтказувчанлик билан узатилади.

9.1.3. Суюқликнинг физик хоссалари

Иссиқлик бериш жараёнига суюқликнинг қуйидаги физик хоссалари таъсир этади:

иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти χ, солиштирма иссиқлик сиғими с , зичлиги ρ, температура ўтказувчанлик коэффициенти а ва ковушоқлик коэффициенти μ. Ҳар қайси модда учун бу параметрларнинг муайян қийматлари бор ва одатда, улар температуранинг, баъзилари эса босимнинг ҳам функциялари ҳисобланади.

9.1.4. Суюқлик ювиб ўтаётган сиртнинг шакли, ўлчами ва ҳолати

Иссиқлик берувчи сиртнинг шакли ва ўлчамлари иссиқлик берилишига катта таъсир кўрсатади. Жисмнинг ҳар қандай оддий шаклларидан (қувурлар, плиталар ва шунга ўхшашлардан) хар хил иссиқлик берувчи сиртлар ҳосил қилиш мумкин.

Иссиқлик бериш коэффициентининг тахминий қийматлари

9.4-жадвал

Конвектив иссиқлик алмашинув жараёни	α, Вт/(м^2·К)
Газлардаги табиий конвекция	6 – 100
Газлар қувурда ёки қувур оралиғида мажбурий ҳаракатланганда	12 – 120
Сув буғининг қувурдаги ҳаракати	110 – 2200
Сувнинг табиий конвекцияси	110 – 1100
Сувнинг қувурдаги ҳаракати	500 – 11000
Қайнаётган сув	2200 – 11000
Конденсацияланаётган сув буғи	4500 – 22000

Бу сиртлар иссиқлик ташувчининг ҳаракатланиш ва иссиқлик беришнинг ўзига хос шароитларини вужудга келтиради.

Шундай қилиб иссиқлик бериш коэффициенти а жуда кўп факторларга боғлиқ эканлигини кўрдик. Шунинг учун а нинг қиймати бир хил шароитда ҳам кенг оралиқда ўзгариб туради (9.4 - жадвал).

9.2. Конвектив иссиқлик алмашинувининг дифференциал тенгламалари

√ Конвектив иссиқлик бериш назариясининг асосий вазифаси юқим ювиб ўтадиган қаттиқ жисм сирти орқали ўтувчи иссиқлик миқдорини аниқлашдир.

Умумий ҳолда стационар конвектив иссиқлик алмашинув жараёнини қуйидаги дифференциал тенгламалар тизими билан ёритиш мумкин.

9.2.1. Иссиқлик алмашинув тенгламаси

Иссиқлик алмашинув сиртининг элементар юзаси ds орқали суюқликнинг ламинар чегара қатлами орқали узатилаётган иссиқлик оқими иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан узатилади ва Фурье қонунига асосан қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$dQ = -\chi \frac{dt}{dn} ds$$

Ньютон қонунига асосан эса $dQ=\alpha\Delta t ds$. Бу тенгламаларни ўнг томонини тенгласак, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$-\chi \frac{dt}{dn} = -\alpha\Delta t \quad \text{ёки} \quad \alpha = -\frac{\chi}{\Delta t}\frac{dt}{dn} \qquad (9.6)$$

(9.6) тенглама конвектив иссиқлик алмашинувининг дифференциал тенгламаси дейилади.

Бу тенглама қаттиқ жисм ва суюқлик чегарасидаги иссиқлик бериш жараёнини тасвирлайди ва иссиқлик бериш коэффициентини топиш учун температура градиентини ва демак, суюқликда температура тақсимотини билиш зарурлигини кўрсатади. Температура тақсимоти эса энергиянинг дифференциал тенгламасидан аниқланади. √

9.2.2. Энергияни ўтказиш тенгламаси

Бу тенглама иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси (Фурье қонуни) ва энергиянинг сақланиш қонуни асосида келтириб чиқарилади.

$$\partial t/t + w_x \partial t/\partial x + w_y \partial t/\partial y + w_z \partial t/z = $$
$$= a(\partial^2 t/\partial x^2 + \partial^2 t/\partial y^2 + \partial^2 t/\partial z^2) \qquad (9.7)$$

(9.7) тенглама энергия ўтказилишини дифференциал тенгламаси ёки Фурье - Кирхгоф тенгламаси дейилади. Бу тенглама ҳаракатланаётган суюқликнинг ҳар қандай нуқтасидаги температуранинг вақт ва фазовий ўзгаришлари орасидаги боғлиқликни белгилайди.

Бу тенгламанинг чап қисми температуранинг $t=f(t, x, y, z,)$ вақт

бўйича тўлиқ ҳосиласидир. Бундай ҳосила ҳаракатланаётган ма-терия ёки субстанция билан боғлиқлиги учун, уни субстанциаль ҳоси-ла дейилади ва D ҳарфи билан белгиланади:

$$Dt/\partial\tau=\partial t/\partial\tau+w_x\partial t/\partial x+w_y\partial t/\partial y+w_z\partial t/\partial z$$
$$\text{ва}\ \nabla^2 t=\partial^2 t/\partial t^2+\partial^2 t/\partial y^2+\partial^2 t/\partial z^2$$

У ҳолда (9.7) тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Dt/\partial\tau=a\nabla^2 t \qquad (9.8)$$

(9.7) тенгламадаги янги ўзгарувчан катталиклар wx, wy ва wz нп борлиги ҳаракатланаётган суюқликда температура майдони тезлик-лар тақсимотига боғлиқ эканлигини билдиради. Бу боғланиш суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламасидан аниқланади.

9.2.3. Суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламаси

Суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламаси (Навье - Стокс тенгламаси) сиқилмайдиган қовушоқ суюқлик учун қуйидаги кўринишга эга:

$$\rho Dw/d\tau=\partial g-\nabla p+\mu\ \nabla^2 w \qquad (9.9)$$

Бу ерда g - тезланиш; p - босим; μ - динамик қовушоқлик коэффициенти;

Сиқиладиган суюқликлар (газлар) учун, зичликни температу-рага боғлиқлигини ρ=f(t) эътиборга олиб, юқоридаги тенгламани қуй-идагича ёзиш мумкин:

$$Dw/d\tau=g\beta_p\Delta t-\frac{1}{\rho}\nabla p+\nu\nabla^2 w$$

τ-бу ерда βp - ҳажмий кенгайишнинг температура коэффициенти; ν-кинематик қовушоқлик коэффициенти.

Бу тенгламага w_x, w_y ва w_z лардан ташқари яна бир ўзгарув-чан катталик ρ=1/υ кириши муносабати билан, тенгламалар тизими-га яна бир тенгламани киритиш лозим бўлади. Оқим узлуксизлиги-нинг (яхлитлигининг) дифференциал тенгламаси - шундай тенглама ҳисобланади.

9.2.4. Оқим узлуксизлигининг дифференциал тенгламаси

Бу тенглама сиқиладиган суюқликлар (газлар) учун қуйидаги кўринишга эга:

$$\partial\rho/\partial\tau+\partial(\rho w_x)/\partial x+\partial(\rho wy)/\partial y+\partial(\rho w_z)/\partial z=0 \qquad (9.11).$$

Сиқилмайдиган суюқликлар (стационар ҳолатда) учун эса:

$$\partial w_x/\partial x+\partial w_y/\partial y+\partial w_z/\partial z=0, \quad \text{ёки} \quad \operatorname{div} w=0 \qquad (9.12)$$

Шундай қилиб, биз конвектив иссиқлик алмашинувини ёритиб берадиган тўртта дифференциал тенгламани кўриб чиқдик.

Бу дифференциал тенгламалар иссиқлик бериш жараёнини умумий ҳолда ёритиб беради.

Конвектив иссиқлик алмашинувини конкрет масалаларини ечишда дифференциал тенгламалар тизимига чегара шартларини (бир-хиллилик шартларини) қўшиш лозим. Бу шартлар қуйидагилардан иборат:

1. Жисмнинг шакли ва ўлчамларини аниқловчи геометрик шартлар;

2. Жисмнинг физик хоссаларини тавсифловчи физик шартлар;

3. Тизим ва ташқи муҳит чегараларидаги жараённинг ўзига хос томонларини ёритувчи чегара шартлари;

4. Текширилаётган жараённинг вақт бўйича ўзига хос кечишини кўрсатувчи вақт шартлари. Стационар жараёнлар учун вақт шартлари керак эмас.

Юқоридаги шартлар, сон қийматлари, функциональ боғлиқлик жадвал шаклида ва ҳоказолар кўринишида берилади.

Бугунги кунда конвектив иссиқлик алмашинувининг кўпгина масалалари ҳали ўзини ечимини топгани йўқ. Шунинг учун жараён-нинг математик ифодасини тўғрилигини тажриба орқали текшириш лозим.

9.3. Ўхшашлик назарияси асослари-

Ўхшашлик назарияси конкрет қурилмада олинган тажриба на-тижаларини шунга ўхшаш ҳодисаларга қачон тадбиқ этиш мумкинли-гини, яъни жараёнларнинг ўхшашлигини аниқлашга имкон беради.

Ўхшашлик назарияси физик ва математик тажриба натижала-рини умумлаштирувчи восита сифатида қўлланилади ва техник қу-рилмаларни моделлантиришнинг назарий асоси ҳисобланади.

Бундан ташқари, ўхшашлик назариясидан иссиқлик алмаши-нишн жараёнларини назарий жиҳатдан таҳлил қилишда ҳам фойдала-ниш мумкин. Ўхшашлик услуби жараённинг математик баёни, яъни жараённинг дифференциал тенгламалари ва уларнинг чегара шартлари маълум бўлган ҳолллардагина қўлланилади. Барча эркин ва боғлиқ ўзгарувчиларни уларнинг баъзи ўзига хос қийматларига (масштабла-рига) бўлиш йўли билан ўлчамсиз катталикларга ўтилади.

Натижада жараённинг математик баёни ўлчамсиз ҳолга кела-ди. Бунда масштаблар, шунингдек, масалага кирувчи физик констан-талар ўхшашлик сонлари ёки критерийлари дейиладиган ўлчамсиз комплекслар ҳолида бирлаштирилади.

Икки ҳодисани бир -бирига ўхшаш бўлиши учун, биринчи ҳодисани

тавсифловчи катталиклар, иккинчи ҳодисани шундай катталикларини қандайдир бир ўзгармас сонларга (ўхшашлик сонларига) кўпайтириш йўли билан олиниши лозим.

Тажриба ўтказиш учун ҳақиқий қурилмага ҳар томондан ўхшаш бўлган моделни яратиш керак. Шундай моделни яратишда эса, геометрик, иссиқлик ва кинематик ўхшашликларга риоя қилиш лозим.

9.3.1. Геометрик ўхшашлик

Конвектив иссиқлик алмашинув жараёни учун жиддий аҳамиятга эга бўлган объект ва унинг модели ўлчамлари (ва1) қуйидаги тенглик билан боғланган бўлиши керак:

яъни модель аслидан m_l марта кичик (катта).

9.3.2. Иссиқлик ўхшашлиги

Бу ўхшашлик температура майдонлари ва иссиқлик оқимларининг ўхшашлигини билдиради. Ўхшаш ҳодисалар таърифига асосан, конвектив иссиқлик бериш дифференциал тенгламасидаги физик ва геометрик катталиклар (намуна ва модель учун) қуйидаги нисбат билан боғлиқ бўлиши керак:

$$\alpha^1=m_\alpha\alpha;\quad \chi^1=m_\chi\chi;\quad \Delta t^1=m_t\cdot\Delta t;$$
$$\partial t^1=m_t\partial t;\quad \partial\lambda=m_e\partial\delta,$$

бу ерда m_α, m_χ, m_t, m_e - ўхшашлик сонлари. Иссиқлик берилишининг дифференциал тенгламасига асосан (9.6) модель учун:

$$m_\alpha \alpha = -\frac{m_x}{m\ell}\cdot\frac{\chi}{\Delta t}\cdot\frac{\partial t}{\partial\delta} \qquad (9,14)$$

(9.6) ва (9.14) тенгламалар билан ёритилган иссиқлик алмашинув жараёнлари қуйидаги шарт бажарилганда ўхшаш бўлади:

$$m_\alpha = \frac{m_\chi}{m_\ell} \quad \text{ёки} \quad \frac{m_\alpha m_\ell}{m_\chi} = 1 \qquad (9.15)$$

Юқоридаги тенгламага (9.15) масштабни танлаш ёки ўхшаш сонларни танлаш тенгламаси дейилади.

Бу тенгламадан кўриниб турибдики, иккита ҳар қандай ўхшаш сонларни ҳар қанча ўзгартириш мумкин, лекин, учинчи ўхшаш сон, шундай танланиши лозимки, натижада (9.15) шарт бажарилиши лозим.

Намуна ва модель учун бир хил бўлган ўлчамсиз комплексларга

ўхшаш сонлар дейилади. Уларга иссиқлик узатиш фанининг ривожланишига катта ҳисса қўшган олимлар номи берилган.

Ўхшаш сонлар ($m\alpha$, m_l, ва, m_χ) қийматларини (9.15) тенгламага қўйиб ва тенгламани чап томонидаги намунага тегишли катталикларни ва ўнг томонига модель учун катталикларни жамласак қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{\alpha l}{\chi}=\frac{\alpha' l'}{\chi'}=idem \qquad (9.16)$$

Охирги ифодага унинг таркибига кирган катталикларни бирликларини қўйсак, α l / χ ўлчамсиз катталик эканлиги келиб чиқади. Ҳосил бўлган сонга Нуссельт сони дейилади.

Нуссельт сони, қаттиқ жисм билан суюқлик чегарасидаги иссиқлик алмашинувини тавсифлайди:

$$Nu=\frac{\alpha l_o}{\chi} \qquad (9.17)$$

бу ерда χ -иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/(м·К); α - иссиқлик бериш коэффициенти, Вт / ($м^2$·К); l_o - жисмнинг ўзига хос чизиқли ўлчами, м.

9.3.3. Кинетик ўхшашлик

Конвектив иссиқлик алмашинуви суюқликнинг ҳаракат тартибига боғлиқ. Суюқликнинг гидродинамик ҳаракат тартиби Рейнольдс сони билан тавсифланади. Рейнольдс сони инерция кучлари билан қовушоқлик кучлари орасидаги нисбатни тавсифлайди:

$$Re=\frac{w l_o}{\nu} \qquad (9.18)$$

бу ерда ν-суюқликнинг кинематик қовушоқлиги, $м^2/с$; w - суюқлик оқими тезлиги, м/с.

Намуна ва модель учун Рейнольдс сонлари бир хил бўлса, у ҳолда уларда суюқликнинг оқими ўхшаш бўлади.

$$\frac{w l_o}{\nu}=\frac{w' l'}{\nu'}=Re=idem \qquad (9.19)$$

Ушбу кўриб чиқилган ўхшаш сонларни танлаш усулини конвектив иссиқлик алмашинуви дифференциал тенгламаларига тадбиқ этсак, қуйидаги асосий ўхшаш сонларни олиш мумкин.

Пекле сони, иссиқликнинг конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан тарқалиш тезликлари нисбатини тавсифлайди:

$$Pe = \frac{w_o l_o}{a} \qquad (9.20)$$

бу ерда a - суюқликнинг температура ўтказувчанлик коэффициенти, $м^2/с$.

Эйлер сони, босим кучлари билан инерция кучларининг нисбатини тавсифлайди:

$$Eu = \frac{p}{\rho w^2} \qquad (9.21)$$

бу ерда p - босим, Па.

Грасгоф сони, зичликларнинг фарқи туфайли суюқликда пайдо бўладиган кўтариш кучларининг қовушоқлик кучларига нисбатини тавсифлайди:

$$Gr = \frac{g\beta(t_{дев} - t_c)l_0^3}{\nu^2} \qquad (9.22)$$

бу ерда β - суюқлик ҳажмий кенгайишининг температура коэффициенти, 1/K; $t_{дев}$ - девор сиртининг температураси, °C; t_c - суюқлик температураси, °C; g - оғирлик кучи тезланиши, $м/с^2$.

Архимед сони, муҳитнинг эркин ҳаракатланиш шартини аниқлайди:

$$Ar = \frac{\partial l_0^3}{\nu} \cdot \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} \qquad (9.23)$$

бу ерда ρ_0 ва ρ - турли фазаларнинг зичликлари, $кг/м^3$.

Прандтл сони, суюқликнинг физик хоссаларини тавсифлайди:

$$Pr = \frac{\nu}{a} \qquad (9.24)$$

Суюқликларнинг Прандтл сони температурага жуда боғлиқ бўлади. Масалан, температура 0 дан 180°C гача кўтарилганда (тўйиниш чизиғида) сув учун Прандтл сони 13,7 дан 1 гача ўзгаради. Иссиқликни жуда яхши ўтказадиган суюқ металлар учун Pr≈ 0,005 -0,05 бўлади. Газлар учун Pr ≈ 1 бўлади.

Маълумки, Pe=Re · Pr

Навье сони, суюқлик ҳаракат тезлигини вақт бўйича ўзгари-шини тавсифлайди:

$$Ho = \frac{w\tau}{l_0} \qquad (9.25)$$

бу ерда τ - вақт, с.

Фруд сони, инерция кучлари билан оғирлик кучларининг нисбатини тавсифлайди:

$$Fr = \frac{g \cdot l_0}{w^2} \qquad (9.26)$$

Фурье сони температура майдонининг ўзгариш тезлиги, жисмнинг физик параметрлари ва ўлчамлари орасидаги боғлиқликни тавсифлайди:

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{l_0^2} \qquad (9.27)$$

Галилей сони, оғирлик кучи ва молекуляр ишқаланиш кучлари орасидаги нисбатни тавсифлайди:

$$Ga = \frac{g \cdot l_0^3}{\nu^2} \qquad (9.28)$$

Агар ўлчамсиз сонларга масаланинг фақат боғлиқ ўзгарувчилари кирадиган бўлса, улар аниқланадиган ўлчамсиз сонлар дейилади. Агар ўлчамсиз сонлар ушбу масаланинг фақат ўзгармас катталиклари ва эркин ўзгарувчиларидан иборат бўлса, у ҳолда улар аниқловчи сонлар дейилади.

Қуйидаги шартлар бажарилгандагина физик катталиклар ўхшаш бўлади:

1. Жараёнларнинг физик табиати бир хил бўлиши ва ёзилиш шакли жиҳатдан бир хил бўлган дифференциал тенгламалар билан тавсифланиши керак.

2. Муҳитнинг шакли ва ўлчамларини, унинг физик хоссаларини тавсифловчи шартлар, шунингдек чегара ва бошланғич шартлар (улардаги ўзгармас катталикларнинг сон қийматларидан ташқари) ҳаммасида бир хил бўлиши керак.

3. Иккита жараённинг ўлчамсиз бир хил сонларининг сон қийматлари бир хил бўлиши лозим.

Аниқланадиган ўхшаш сон ва аниқловчи сонлар ўртасидаги боғланишга критериал тенгламалар дейилади. Иссиқлик аппаратларини ҳисоблашда иссиқлик бериш коэффициенти а ва гидравлик қаршилик Ор аниқланадиган катталик ҳисобланади.

Конвектив иссиқлик алмашинуви қуйидаги бешта ўхшаш сонлар билан тавсифланади: Nu, Eu, Pr, Gr ва Re.

Нуссельт сони таркибида номаълум бўлган иссиқлик бериш коэффициенти а туради.

Эйлер сонида эса, гидравлик қаршиликни тавсифловчи Ор қатнашади.

Шунинг учун Nu ва Eu сонлари аниқланадиган ўхшаш сонлар ва Pr, Gr ва Re сонлари аниқловчи ўхшаш сонлар дейилади.

Конвектив иссиқлик алмашинуви учун критериал тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин.

$$Nu = f_1(Re, Gr, Pr) \quad (9.29)$$

$$Eu = f_2(Re, Gr, Pr) \quad (9.30)$$

Ўхшаш сонлар ўртасидаги боғлиқлик асосан тажриба орқали аниқланади.

Суюқликнинг мажбурий ҳаракатида ва жадал турбулент оқимда юқоридаги критериал тенглама соддалашади:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (9.31)$$

Масалан, ҳавонинг қувурда турбулент барқарор ҳаракатидаги иссиқлик алмашинувини тажрибада ўрганиш асосида қуйидаги критериал боғлиқлик аниқланган.

$$Nu = 0{,}018\ Re^{0{,}8} \quad (9.32)$$

Бу тенгламадан техник ҳисоблашларда кенг кўламда фойдаланилади.

Суюқликнинг эркин ҳаракатида (мажбурий конвекция бўлмаса) Рейнольдс сони ўрнига Грасгоф сони киритилади:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (9.33)$$

Критериал тенгламаларни ҳисоблашда суюқликнинг физик параметрлари маълумот жадвалларидан аниқловчи температура бўйича олинади. Одатда бу температура сифатида суюқликнинг ўртача температураси олинади. Доирасимон қувурлар учун аниқловчи ўлчам сифатида унинг диаметри, мураккаб кесимли каналлар учун эквивалент диаметр ва плитани оқим ювиб ўтаётганда унинг узунлиги олинади.

9.4 Моделлаштириш

Турли хил физик ҳодисаларни тадқиқот қилиш бевосита объектнинг ўзида ёки унинг моделида амалга ошириш мумкин. Модель ва унда кечаётган жараён қаноатлантириши керак бўлган шартларни ўхшашлик теоремаси беради. Ўхшашлик назариясини тажрибаларга қўллаш имкониятлари ниҳоятда каттадир.

Физик ҳодисаларнинг ўхшашлик назарияси асоси учта ўхшашлик теоремасидан иборат.

Биринчи ва иккинчи теоремаларда ўхшашликлари олдиндан маълум

бўлган ҳодисалар ҳақида гапирилиб, шу ўхшаш ҳодисаларнинг асосий хоссаларига таъриф берилади. Учинчи теорема эса, ҳодисаларни бир-бирига ўхшашлигини аниқлашга имкон берувчи хусусиятларни белгилайди.

Икки суюқликнинг ўхшаш оқими учун биринчи ўхшашлик теоремаси И. Ньютон томонидан 1686 йили айтиб ўтилган бўлсада, ушбу теорема фақат 1848 йили Ж. Бертран томонидан исботланган.

Биринчи теоремага қуйидагича таъриф бериш мумкин: ўхшаш ҳодисаларнинг ўхшаш сонларининг қиймати бир хил. Иккинчи ўхшашлик теоремаси 1911 йили рус олими А. Федерман ва 1914 йили америкалик олим Е. Букингем томонидан исботланган.

Иккинчи теоремага қуйидагича таъриф бериш мумкин: агар физик ҳодиса дифференциал тенгламалар тизими билан тавсифланса, у ҳолда уларнинг ўхшашлик (критериал) тенгламалари билан ифодалаш имконияти ҳар доим мавжуддир.

Учинчи ўхшашлик теоремасига таъриф М.В. Кирпичев ва А.А. Гухман томонидан берилган ва 1933 йили М.В. Кирпичев томонидан исботланган.

Учинчи ўхшашлик теоремасини қуйидагича таърифлаш мумкин: бир хиллилик шартлари ўхшаш бўлган ҳодисалар ўхшашдир ва бир хиллилик шартлари асосида тузилган ўхшаш сонлар қийматлари бир хилдир.

Маълумки, бирорта тизимдаги ўхшаш ҳодисалар айнан бир ҳодисанинг турли масштабдаги кўринишидан иборатдир. Шунинг учун, тизимдаги ҳар қандай ҳодисани ўрганиш натижасида олинган хулосаларни тизимдаги барча ҳодисаларга қўллаш мумкин.

Демак, тизимдаги конкрет ҳодисани ўрганиш, шу тизимдаги ҳар қандай бошқа ҳодисани ўрганиш билан баробардир.

Шунинг учун, конкрет ҳодисани бевосита объектда тадқиқот қилиш техник ёки иқтисодий сабабларга кўра қийин бўлса, у ҳолда моделдаги ўхшаш ҳодиса ўрганилади.

Моделлаштириш деб, бирон-бир физик ҳодисани кичиклаштирилган моделда ўрганиш илмий тадқиқот услубига айтилади.

Модель намунага ўхшаш бўлиши учун қуйидаги шартлар бажарилиши зарур: физик табиати бир хил ва бир хил дифференциал тенгламалар билан тавсифланган жараёнларни моделлаштириш мумкин;

Бир хиллилик шартлари, улардаги катталикларнинг сон қийматларидан ташқари, ҳаммасида бир хил бўлиши керак. Ушбу шартга асосан объект ва модель геометрик ўхшаш бўлиши, объект ва моделнинг кириш кесимидаги суюқлик ҳаракати ўхшаш бўлиши, объект ва модель мос нуқталарда физик параметрлар ўхшаш бўлиши керак.

Объект ва модель учун санаб ўтилган ўхшашлик шартлари зарурий ва етарлидир. Тушунарлики, амалда барча моделлаштириш шартларини бажариб бўлмайди. Шунинг учун тақрибий моделлаштириш усули ишлаб чиқилган.

Бугунги кунда моделлаштириш илмий текширишнинг асосий услубларидан бири бўлиб, фан ва техниканинг барча соҳаларида кенг қўлланилмоқда.

9.5. Табиий конвекцияда иссиқлик берилиши

Иссиқлик оқимини аниқловчи барча формулаларда суюқлик температураси қиймати киради. Бу температура эса, кўпинча, канал-нинг кесими ва узунлиги бўйлаб нотекис тақсимланган.

Шу сабабли техник ҳисоблашларда суюқлик температураси сифатида оқимнинг ўртача температураси олинади.

Бу температурага аниқловчи температура дейилади. Деворнинг ўртача температурасини $t_д$, суюқликнинг каналга киришдаги ўртача температурасини t^I, чиқишдагини эса t^{II} билан белгиласак, у ҳолда оқимнинг канал узунлиги бўйича ўртача температураси tc қуйидаги формула билан аниқланади:

$$t_c = t_д \pm (t' - t'')/\ln\frac{t' - t}{t'' - t_д} \qquad (9.34)$$

(9.34) формулада мусбат ишора суюқлик совитилаётганда, манфий ишора эса иситилаётганда олинади.

Агар оқим температураси ўзгариши унчалик катта бўлмаса, ўртача температурани қуйидаги формуладан аниқланади:

$$t_c = 0,5(t^I + t^{II}) \qquad (9.35)$$

Маълумки, томчи суюқликлар ва газларнинг физик параметрла-ри температура ўзгариши билан ўзгариб туради. Шунинг учун физик катталиклар олинадиган аниқловчи температура сифатида оқимнинг ўртача температураси, ёки деворнинг ўртача температураси, ёки чегара қатламининг ўртача температураси олинади:

$$t_{чк} = 0,5(t_д + t_c) \qquad (9.36)$$

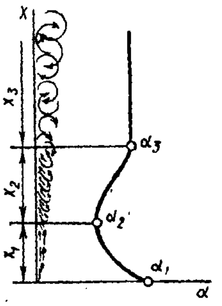
Иссиқлик бериш коэффициентини аниқлаш тенгламаларида ҳар доим суюқликнинг ўртача тезлиги олинади:

$$w_{ўрт} = \frac{1}{F_F}\int w dF = \frac{V}{F} \qquad (9.37)$$

Баъзи ўхшаш сонларга чизиқли ўлчам киради. Юмалоқ қувурлар учун чизиқли ўлчам сифатида қувурнинг ички диаметри олинади. Кесими юмалоқ бўлмаган каналлар учун эквивалент диаметр $d_{экв}=4F/S$ олинади, бу ерда F - каналнинг кўндаланг кесим юзаси; S - канал-нинг тўлиқ (ҳўлланган) периметри.

Оқим қувурни ёки қувурлар тўпламини кўндалангига ювиб ўтаётганда аниқловчи ўлчам сифатида қувурнинг ташқи диаметри олинади; оқим плитани ювиб ўтаётганда, оқим йўналиши бўйича унинг узунлиги олинади.

Юқорида айтиб ўтилганидек, суюқликнинг эркин ҳаракатланишига температуралар фарқи сабаб бўлади. Бу эркин ҳаракатланиш фақат иссиқлик алмашинув бўлгандагина вужудга келиши ва давом этиши мумкин, деган сўздир. Бунда иссиқлик алмашинуви қанчалик кучли бўлса, муҳит ҳам шунчалик, тез ҳаракат қилади. Шундай қилиб, табиий конвекция фақат суюқ (газ) муҳитдагина амалга ошиши мумкин.



9.5-расм. Ҳавонинг вертикал иссиқ сирт бўйлаб ҳаракатланиши:
x_1 – ламинар ҳаракатланиш соҳаси;
x_2 - оралиқ ҳаракатланиш соҳаси;
x_3 – уюрмавий турбулент ҳаракатланиш соҳаси;

Табиий конвекция йўли билан иссиқлик алмашинувида қизиган зарралар юқоридан тушаётган совуқ зарраларга қарши, яъни пастдан юқорига томон ҳаракат қилади. Бунда мураккаб ҳаракат вужудга келиб, кўтарилувчи ва тушувчи оқимлар тўқнашади.

Табиий конвекцияда иссиқлик алмашинув жараёни кўнчилик иссиқлик қурилмаларидек узатилади. 9.5-расмда ҳавонинг қизиган вер-тикал қувур атрофида ҳаракатланиш схемаси кўрсатилган.

Қувурнинг пастки қисмида ҳавонинг юпқа қатлами кичикроқ тезлик билан юқорига кўтарилиб, ламинар оқим ҳосил қилади. Шун-дан кейин ҳаракатланиш давомида қатлам қалинлиги аста-секин ортиб боради. Бунда тезлик ортади, ламинар оқим тартиби бузилади, ҳаракат ўзига хос "гажаксимон" кўринишга эга бўлади. Бу оралиқ оқим барқарор бўлмайди, у турбулент оқим билан алмашинади ва қувурнинг юқори қисмининг ҳаммасида оқим тартиби турбулент бўлади. Ҳаракат тартиби ўзгаришига қараб иссиқлик бериш коэффициенти α нинг қиймати ҳам ўзгаради. Қувурнинг пастки қисмида а қувурнинг баландлиги бўйлаб камаяди, x_2 қисмида (оралиқ оқим) а қисман ортиб, турбулент оқим қисмида ўзгармаслигича қолади.

9.6-расм. Иситилган горизонтал сиртда суюқлик эркин ҳаракатининг тавсифи

Қиздирилган томони юқорига қараган горизонтал ясси девор ёки плита атрофида суюқликнинг ўзига хос ҳаракати кузатилади (9.6-расм).

Қиздирилаётган юза катта бўлса маҳаллий кўтарилувчи ва тушувчи оқимлар

ҳосил бўлади (9.6-расм,а), юза кичик бўлса, биргина кўтарилувчи оқим ҳосил бўлади (9.6-расм,б).

Худди шу плиталарнинг қиздирилган сирти пастга қараган бўлса, суюқликнинг ҳаракати сирт остида, юпқа қисмида рўй беради (9.6-расм, в).

Диаметри кичик бўлган (1 мм гача) таёқчаларда иситиш юзаси кичик бўлгани туфайли, ламинар оқим температура босими Δt катта бўлганда ҳам сақланиб қолади. Δt нинг унчалик катта бўлмаган қийматларида эса, таёқча атрофида деярли ҳаракатланмайдиган иситилган суюқлик қатлами ҳосил бўлади.

Тажриба натижалари шуни кўрсатадики, чегараланмаган фазодаги табиий конвекция асосан муҳитнинг физик хоссаларига ва температура босимига боғлиқ бўлар экан.

М.А. Михеев табиий конвекцияда иссиқлик алмашинувига доир кўп тажриба натижаларини таҳлил қилди ва иссиқлик алмашинувининг турли ҳолларида иссиқлик берилишини топишга имкон берадиган бир қатор тенгламаларни таклиф этди.

Умумий ҳолда, ак ни аниқлаш учун М.А. Михеевнинг қуйидаги критериал тенгламасидан фойдаланиш мумкин:

$$Nu=C(Gr\cdot Pr)^m, \quad \alpha k=C\chi\ (Gr\cdot Pr)^m/l \qquad (9.38)$$

(9.38) тенгламани ҳар қандай шаклли жисмларни ($Pr\geq 0,7$ бўлганда) суюқлик ёки газ ювиб ўтаётганда қўллаш мумкин. Аниқлов-чи температура сифатида чегара қатламининг ўртача температураси $t=0,5\ (t_{ж}+t_{c})$ олинади.

Аниқловчи геометрик ўлчам сифатида қувур ва шар диаметри, ясси девор учун унинг баландлиги олинади. C ва m константалар аргумент (Gr, Pr) нинг ўзгариш оралиғига боғлиқ. Уларнинг қийматлари 9.5 - жадвалда берилган.

C ва m константалар қийматларининг Gr·Pr га боғлиқлиги

9.5-жадвал.

Константа	10^{-3}-$5\cdot10^{2}$	$5\cdot10^{2}$-$2\cdot10^{7}$	$2\cdot10^{7}$-10^{13}
C	1,18	0,54	0,135
m	0,125	0,250	0,333

Юқоридаги тенгламани қуйидаги конкрет ҳоллар учун қуйи-дагича ёзиш мумкин:

1). Горизонтал қувурлар учун (103<Gr·Pr<108---)

$$Nu=0,5(Gr\cdot Pr)^{0,25}(Pr/Prg)^{0,25} \qquad (9.39)$$

2). Вертикал сиртлар (қувурлар, ясси қаттиқ жисмлар) учун:

а) ламинар оқишда $(103<Gr \cdot Pr<109)$

$$Nu=0,76(Gr \cdot Pr)^{0,25}(Pr/Prg)^{0,25} \quad (9.40)$$

б) турбулент оқишда $(Gr \cdot Pr>109)$

$$Nu=0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33}(Pr/Prg)^{0,25} \quad (9.41)$$

Юқоридаги тенгламадан иссиқлик бериш коэффициентини ўртача қийматини ҳисоблашда қуйидагиларга алоҳида эътибор бериш зарур:

1. Тенгламалар, $Pr \geq 0,7$ бўлган суюқликлар учун тўғридир.

2. Критериялар таркибига кирган барча физик константалар суюқликнинг ўртача температурасида олинади.

3. Pr сони суюқликнинг ўртача температураси бўйича олинади. Газлар учун Pr=const, Pr/Prg=1 бўлади.

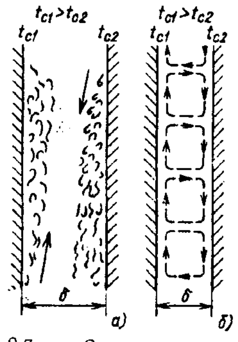
4. $Gr \cdot Pr<10\text{-}3$ бўлса, Нуссельт сони деярли ўзгармайди ва 0,5 га тенг бўлади, яъни $\alpha=0,5\ \chi\ /\ l$.

Демак, бундай шароитда иссиқлик алмашинуви фақат иссиқ-лик ўтказувчанликка боғлиқ бўлади.

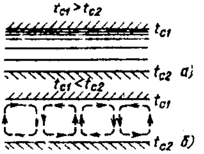
Баъзи ҳолларда табиий конвекция чегараланган фазода (дера-за ойналари оралиғи, девор қатлами ва шунга ўхшаш) рўй беради.

9.6. Чекланган фазода иссиқлик бериш.

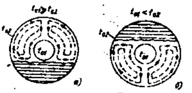
Чекланган фазода иссиқлик бериш суюқликнинг табиатига, унинг температурасига, босимига, чекланган фазонинг шакли ва ўлчамларига ҳамда совуқ ва иссиқ сиртларнинг ўзаро жойлашишига боғлиқдир. Чекланган фазода суюқликнинг ўзига хос эркин ҳаракати 9.7-9.9-расмларда тасвирланган.



9.7-расм Суюқликнинг вертикал тирқишлардаги табиий циркуляцияси а - кенг тирқиш; б-тор тирқиш;



9.8-расм Суюқликнинг горизонтал тирқишлардаги табиий ҳаракати



9.9-расм. Суюқликнинг цилиндрик тирқишлар-даги табиий ҳа-ракати

Вертикал тирқишларда суюқликнинг ҳаракат тавсифи деворлар орасидаги масофа d га боғлиқ бўлади: d катта бўлса тушаётган ва кўтарилаётган оқимлар бир-бирига халақит бермасдан ҳаракатланади (9.7-расм, а); d кичик бўлса, оқимлар бир-бирига халақит бериб ички циркуляция контурлари ҳосил бўлади (9.7-расм, б).

Горизонтал тирқишларда суюқликнинг эркин ҳаракати қизиган ва совуқ сиртларнинг ўзаро жойлашишига ва ўрталаридаги масофага боғлиқ бўлади. Агар юқори девор температураси пастки девор темпе-ратурасидан катта бўлса, суюқликнинг эркин харакати кузатилмайди. Юқори девордан пастки деворга иссиқлик иссиқлик ўтказувчанлик ёки нурланиш орқали узатилади (9.8-расм, а). Агар пастки девор темпера-тураси юқори бўлса, суюқликнинг пастдаги температураси юқори ва зичлиги кам бўлган қисмлари юқорига кўтарилади, совуқ қисмлари эса пастга ҳаркатланади ва тирқишда суюқликнинг кўтарилаётган ва тушаётган оқимлари пайдо бўлади (9.8-расм, б).

Горизонтал цилиндрик тирқишларда (9.9-расм) суюқлик циркуляцияси тирқишлар диаметри нисбатига боғлиқ бўлади.

Иситилган сирт пастда жойлашган бўлса, суюқлик циркуляцияси сиртнинг юқори қисмида (9.9-расм, а) кузатилади, пастки қисмида циркуляция кузатилмайди. Ташқи цилиндрик сирт қиздирилганда (9.9-расм, б) суюқлик циркуляцияси юқоридаги совуқ сиртнинг остида рўй беради.

Тирқишлар орқали мураккаб иссиқлик узатиш жараёнини ҳисоблашда уни эквивалент иссиқлик ўтказувчанлик билан алмаштирилади. Жисм билан уни ювиб ўтаётган суюқлик ўртасидаги иссиқлик оқимининг ўртача зичлиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$q = \frac{\chi_{экв}}{\delta}(t_{c1} - t_{c2}) = \frac{\chi_{эк}}{\delta}(t_{c1} - t_{c2})$$

бунда $\chi_{экв}$ - иссиқлик ўтказувчанликнинг эквивалент коэффициенти; бу катталик иссиқликни тирқиш орқа-ли иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция орқали узатилишини тавсифлайди;

χ - суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти;

$\varepsilon_к = \chi_{экв}/c$- конвекция коэффициенти.

Тушувчи ва кўтарилувчи оқимлар туфайли газларнинг ҳарака-ти мураккаб бўлади.

Бундай иссиқлик алмашинувини ҳисоблаш жуда қийин. Ҳи-соблашни соддалаштириш мақсадида мураккаб иссиқлик алмашинув жараёнини иссиқлик ўтказувчанлик билан алмаштирилади ва эквивалент иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти деган тушунча киритила-ди.

$$\chi_{cэ}к = Q\delta \ / \ (\Delta t \cdot F) \qquad (9.42)$$

Бу ерда δ - чекланган фазонинг қалинлиги (кенглиги). Эквивалент иссиқ-

қлик ўтказувчанликни $\chi_{экв}$, муҳитнинг ўртача температурасидаги иссиқлик ўтказувчанлигига χ нисбати - конвекция коэффициенти деб айтилади.

$$e_{ек}=\chi_{эк}/\chi=f(Gr\cdot Pr) \qquad (9.43)$$

Тақрибий ҳисоблашларда, (Grc·Prc)>0 ҳолда

$$e_{к}=0,18\ (G_{г}\cdot P_{г})^{0,25} \qquad (9.44)$$

бўлади. Бундан кейин $\chi_{эк}=e_{кс}$ ва $q=\chi_{эк}\cdot\Delta t$ аниқланади.

9.7. Мажбурий конвекцияда иссиқлик берилиши

Мажбурий ҳаракатланишда иссиқлик берилиш жадаллиги, асосан муҳитнинг (суюқлик ёки газнинг) ҳаракатланиши тавсифи билан аниқланади.

Амалда кўпинча турбулент ҳаракат учрайди, бунда иссиқлик бериш коэффициенти ламинар ҳаракатдагига қараганда анча катта бўлади. Re сони катталашганда яъни турбулентлик жадаллиги ортганда суюқлик билан девор орасида иссиқлик алмашинуви кучаяди.

Иссиқлик алмашинуви муҳит ювиб ўтаётган сиртнинг шаклига ҳам кўп жиҳатдан боғлиқ бўлади. Оқим ҳеч қаерда ювиб ўтилаётган сиртдан ажралмаса, бундай оқим узилмас оқим дейилади.

Агар тизимда кескин ўзгарадиган эгрибугриликлар ёки катталашиб борадиган каналлар, кескин бурилишлар ва шунга ўхшашлар бўлса, у ҳолда баъзи жойларда оқим сиртдан ажралади, яъни узилиб оқиш пайдо бўлади.

Бугунги кунда узилмай оқиш жараёни деярли тўлиқ ўрганил-ган бўлиб, турли сиртлар учун ҳар хил ҳисоблаш формулалари мавжуд. Узилиб оқиш жараёни эса, содда ҳоллар (цилиндр, шар ва қувурлар тўпламини ювиб ўтишда) учун ўрганилган.

Мажбурий конвекцияда ламинар оқим икки хил бўлиши мумкин - қовушоқли ва қовушоқ - гравитацион. Қовушоқли оқишда, қовушоқлик кучлари кўтариш кучларидан устун туради. Бу оқишда табиий конвекция бўлмайди ва канал деворларига иссиқлик фақат иссиқлик ўтказувчанлик усули билан узатилади.

Қовушоқ-гравитацион оқишда кўтариш кучлари ҳисобга олинади ва бу ҳолда суюқликнинг мажбурий ҳаракати табиий конвекция билан биргаликда рўй беради.

Бунинг натижасида оқимнинг ламинарлиги бузилади. Бундай оқишда иссиқлик ҳам иссиқлик ўтказувчанлик, ҳам конвекция йўли билан узатилади.

$Re=2\cdot10^3\div10^4$ бўлганда оралиқ оқиш кузатилади ва Re>104 да оқиш турбулент бўлади.

Бу икки ҳаракат бир-биридан, Gr·Pr кўпайтманинг қийматига қараб фарқланади.

$Gr \cdot Pr > 8 \cdot 10^5$ бўлса, оқим тартиби қовушоқ - гравитацион бўлиб, бу ҳол учун қуйидаги формула ўринли бўлади:

$$Nu=0,15\ Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} (Gr \cdot Pr)^{0,1} \cdot (pr/Pr_g)^{0,25} \quad (9.45)$$

Бу тенгламада аниқловчи ўлчам сифатида эквивалент диаметр, аниқловчи температура сифатида суюқликнинг ўртача температураси олинган.

Томчи суюқликлар учун, уларни девордан иситишдаги иссиқлик бериш коэффициенти аис, ҳар доим совишидаги иссиқлик бериш ко-эффициенти асов дан катта бўлиши тажрибалардан аниқланган.

$\alpha_{ис}$ - $\alpha_{сов}$ айирма, температура босими tg- tc кўпайиши би-лан ортади. Бу ҳолат, критериал тенгламага $(P_r/Pr_g)^{0,25}$ кўпайтмани киритиш билан эътиборга олинади. Юқорида айтиб ўтилганидек, Prg деворнинг ўртача температурасида ҳисобланади.

Бу катталик суюқликлар учун 0,5 -2 га, газлар учун эса 1 га тенг. (9.45) формулани, агар қувурнинг иссиқлик барқарорлашган қисми узунлиги $l \geq 50d$ бўлса, барча суюқликлар учун қўллаш мумкин. Узунлиги 50·d дан кичик бўлган калта қувурлар учун (9.45) формуладан аниқланган а, тузатиш коэффициенти ε_l га кўпайтирилади. ε_l коэффициентнинг сон қиймати l/d га қуйидагича боғлиқ.

l/d	1	2	5	10	15	20	30	40	50
εl	1,9	1,7	1,44	1,28	1,18	1,13	1,05	1,03	1.

Иссиқлик ташувчининг қувур ва каналдаги оралиқ оқими тартиби (2300<Re<10000) учун, турли хил тажрибаларни умумлаштирувчи формулалар бугунги кунда йўқ.

$Re \geq 10^4$ бўлгандагина ривожланган турбулент ҳаракат ҳосил бўлади. Бунда суюқлик зарраларининг аралашиш жараёни шунчалик жадал кечадики, натижада турбулент оқим ядросининг кесими бўйича температура деярли ўзгармас бўлиб туради.

М. А. Михеев турбулент оқим усулида қувурлардаги иссиқлик берилишини ҳисоблаш учун қуйидаги формулани таклиф этди:

$$Nu=0,021\ Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot (Pr/Prg)^{0,25} \quad (9.46)$$

Бу формулада аниқловчи ўлчам сифатида эквивалент диаметр, аниқловчи температура сифатида суюқликнинг ўртача температураси қабул қилинган. Ҳаво учун, агар Pr=0,7 деб ҳисобласак, (9.46) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$Nu=0,018\ Re_{0,8} \quad (9.46)$$

(9.47) формула турли хил иссиқлик ташувчилар: суюқликлар, газлар, ўта қизиган буғлар учун $l/d \geq 50$, Re=104÷5·106 ва Pr=0,6÷250 бўлган ҳолларда қўлланилади.

Агар каналнинг узунлиги $l < 50d_{экв}$ бўлса, (9.46) формуладан ҳисобланган a тузатиш коэффициенти ε_l га кўпайтирилади. ε_l коэффи-циентнинг қиймати 9.6-жадвалдан олинади.

Тўзатиш коэффициенти εl нинг l/d га боғлиқлиги.

9.6 -жадвал.

Re	ε_l нинг ℓ /d қуйидагича бўлгандаги қиймати								
	1	2	5	10	15	20	30	40	50
10^4	1,65	1,5	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03	1
$2·10^4$	1,51	1,4	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02	1
$5·10^4$	1,34	1,27	1,18	1,13	1,10	1,08	1,04	1,02	1
10^5	1,28	1,22	1,15	1,1	1,08	1,06	1,03	1,02	1
10^6	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1

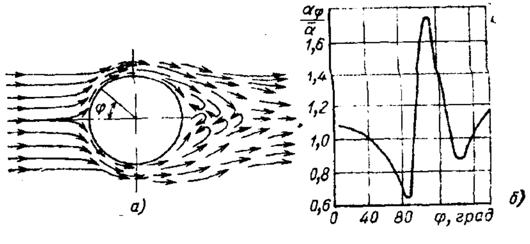
Иссиқлик ташувчининг букилган қувурларда оқишида, иссиқлик бериш жараёни марказдан қочирма кучларнинг оқимга таъсири туфайли мураккаблашиб кетади.

Унинг таъсири (9.46) формулага тузатиш коэффициенти ε_R ни киритиш билан ҳисобга олинади. Илонизисимон қувурлар учун ε_R қуйидаги нисбатдан аниқланади:

$$\varepsilon_R=1+1,77\ d/R,$$

Бу ерда R -букилиш радиуси; d - қувур диаметри.

Маълумки, кўпгина иссиқлик алмашинув аппаратларида (ҳаво иситкич, сув экономайзери ва ҳоказо) қувурлар оқимга нисбатан кўндаланг жойлашган бўлади. 9.10-расмда суюқлик қувурни кўндалангига қамраб олаётган манзараси тасвирланган.



9.10-расм. Цилиндр айланаси бўйлаб ювиб ўтишнинг тавсифи (а) ва иссиқлик беришнинг ўзгариши (б)

Қувурнинг рўпара қисми сиртида чегара қатлами ҳосил бўлиб, унинг қалинлиги оқим йўналиши бўйлаб ортиб боради. Баъзи нуқталарда чегара қатламини сиртдан узилиши кузатилади ва қувур орқасида иккита симметрик уюрма пайдо бўлади.

Чегара қатламининг узилиш нуқтаси ўрни Re сонига боғлиқ бўлади. Re сони унчалик катта бўлмаса ва қувурга келаётган оқимнинг турбулентлик даражаси кичик бўлса, чегара қатлами 82 -84° да узилиши кузатилади. Re сони ортган сари, чегара қатламидаги ҳаракат турбулент шаклга ўтади. Бунинг натижасида, кинетик энергиянинг ортиши ҳисобига чегара қатламининг узилиш ўрни оқим бўйлаб пастга силжийди ($\varphi \approx 120 \div 140°$), бу эса, қувур орқасида уюрма зонасини камайишига ва қамрашни яхшилашга олиб келади.

Қувурни бундай ўзига хос равишда қамраб олиниши, суюқлик ва қувур сирти ўртасидаги иссиқлик алмашинувига таъсир этади.

9.10-расмда (б) маҳаллий иссиқлик бериш коэффициенти aj нинг ўртача иссиқлик бериш коэффициенти a га нисбатининг φ бурчакка боғлиқлиги тасвирланган. Расмдан кўриниб турибдики, иссиқлик бериш қувурнинг тўғрисида ($\varphi=0°$) жадал рўй беради, $\varphi=90° \div 100°$ да энг кам, $\varphi=120°$ да энг юқори бўлади ва кейин $\varphi=140°$ да яна пасаяди. Қувурнинг $\varphi=0 \div 100°$ ли қисмида иссиқлик беришнинг камайиши ламинар чегара қатламининг қалинлигини ортиши ҳисобига бўлади.

$\alpha\varphi / \bar{\alpha}=f(\varphi)$ эгри чизиқдаги биринчи энг паст нуқта чегара катламида ламинар оқишни турбулент оқишга ($Re_{кр}= 1 \cdot 10^5 \div 4 \cdot 10^5$) ўтишига мос келади.

Бундан кейин иссиқлик бериш кескин равишда ортиб кетади. Иккинчи энг паст нуқта турбулент чегара қатламини узилишига мос келади. Суюқлик ёки газ, цилиндрни кўндалангига ювиб ўтаётган ҳол учун ўртача иссиқлик беришни ҳисоблаш қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$Nu=(0{,}43+CRe^{m}Pr^{0.38})\ \varepsilon \qquad (9.48)$$

Аниқловчи температура сифатида қувурга келаётган оқим температураси, аниқловчи ўлчам эса, цилиндр диаметри бўлади. Туза-тиш коэффициенти ε келаётган оқимнинг турбулентлик даражасини ҳисобга олади ($\varepsilon = 1{,}0 \div 1{,}6$).

С коэффициент ва m кўрсаткич Re сонига боғлиқ равишда қуйидаги қийматларни олади:

$Re=1 \div 4 \cdot 10^3$, $C=0{,}35$, $m=0{,}5$;

$Re=4 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^4$, $C=0{,}20$, $m=0{,}62$;

$Re=4 \cdot 10^4 \div 4 \cdot 10^5$, $C=0{,}027$, $m=0{,}80$.

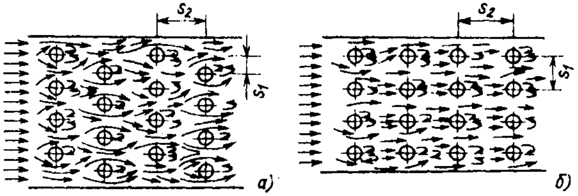
Агар оқим цилиндрни $\psi < 90°$ бурчак остида қамраб ўтса, (9.48) тенглама бўйича ҳисобланган α, $\varepsilon_\varphi \approx 1\text{-}0{,}54 \cos^2\psi$ га кўпайтирилиши керак.

Агар кўндаланг оқимда бир эмас, балки бутун қувурлар тўплами бўлса, иссиқлик алмашинув жараёни янада мураккаблашади. Бу ҳолда иссиқлик бериш қувурларнинг тўпламда жойланишига ва қувур жойланган қатор рақамига боғлиқ. 9.11-расмда қувурлар йўлаксимон ва шахматсимон жойлашганда суюқлик ҳаракати тавсифи кўрсатилган.

Тўпламдаги қувурларнинг биринчи қатори қўзғалмаган суюқ-лик оқими билан ювилади ва шунинг учун шу қаторда a энг кичик бўлади. Кейинги қаторларда иссиқлик бериш анча жадал кечади ва учинчи ҳамда кейинги қаторлар учун a деярли бир хил бўлади.

Қувурлар тўплами учун $10^3 < Re < 10^5$ ва $0,7 < Pr < 500$ бўлганда иссиқлик бериш қуйидаги тенгламадан аниқланади.

$$\overline{Nu} = C\,Re^m\, P_r^{1/3}\left(\frac{Pr_c}{Pr_g}\right)^{1/3}\varepsilon_S \cdot \varepsilon_i \qquad (9.49)$$



9.11-расм. Суюқликнинг қувурлар тўпламида ҳаракати тавсифи. а - шахматсимон жойланиш; б - йўлакли жойланиш

Қувурлар шахматсимон жойлашганда с=0,41, m=0,65; йўлак-симон жойлашганда с=0,26, m=0,65 бўлади. Аниқловчи чизиқли ўлчам сифатида қувурнинг ташқи диаметри олинади. Re сони суюқлик ёки газнинг тўплам-нинг энг торайган кесимидаги ўртача тезлиги орқа-ли ҳисобланади.

Тузатиш коэффициенти ε_s, тўпламнинг кўндаланг S_1 ва бўйла-ма қадамини ҳисобга олади:

Шахматсимон тўплам учун

$$\varepsilon_s=(S_1/S_2)^{1/6},\ s_1/s_2 < 2 \text{ да.}$$

Йўлакли тўплам учун

$$\varepsilon_s=1,12,\quad s_1/s_2 \geq 2 \text{ да.}$$

ε_i тузатиш коэффициенти, қувурларнинг биринчи ва иккинчи қаторидаги иссиқлик беришнинг камайишини ҳисобга олади. Қувурларнинг биринчи қатори учун ε_i=0,7 (шахматсимон тўплам) ва ε_i=0,9 (йўлакли тўплам); учинчи ва кейинги қаторлар учун ε_i=1.

Барча қувурлар тўплами учун иссиқлик бериш коэффициенти-нинг ўртача қиймати қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{z} \bar{\alpha}_i F_i}{\sum_{i=1}^{z} F_i} \qquad \textbf{(9.50)}$$

бу ерда $\bar{\alpha}_i$ - i - нчи қаторнинг ўртача иссиқлик бериш ко-эффициенти; Fi - i - нчи қатор юзаси; Z - тўпламдаги қувурлар со-ни.

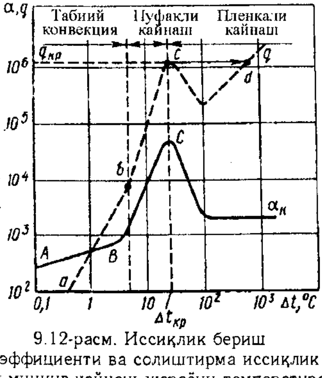
9.8. Жисмнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик берилиши

Жисмнинг фазовий ўзгаришлари - буғланиш, қайнаш, конден-сация, сублимация - иссиқлик алмашинув жараёнига катта таъсир этади.

Қайнаш жараёнининг бошланишида, иссиқлик девордан унга бевосита туташган суюқлик қатламига, суюқликдан эса, ҳосил бўлаётган буғ пуфакчаларига узатилади. Буғ ҳосил бўлишининг механизми ва иссиқлик алмашиянув жадаллиги, девор ва суюқлик температуралари фарқи $\Delta t = t_д - t_c$ билан белгиланади.

9.12-расмда иссиқлик бериш коэффициенти a ва иссиқлик оқимининг зичлигини температура босимига боғлиқлиги тасвирланган.

$\Delta t < 5$ С бўлганда, иситилаётган сиртдан ажралиб чиқаётган пуфакчалар кўп бўлмайди ва улар суюқликни аралашишига сезиларли таъсир кўрсата олмайди.



9.12-расм. Иссиқлик бериш коэффициенти ва солиштирма иссиқлик оқи-мининг қайнаш жараёни температура боссимига боғлиқлиги (p=0.1 МПа)

Бундай шароитда иссиқлик алмашинувининг жадаллиги суюқликнинг эркин ҳаракати билан белгиланади ва иссиқлик бериш коэффициенти Δt ортиши билан секин кўпаяди. Қайнашнинг бундай усули-га конвектив қайнаш дейилади.

Температура босими Δt нинг кейинги ортиши натижасида буғ пуфакчалари сони ҳам орта боради ва бунинг натижасида суюқлик жадал аралашади.

Қайнашнинг бундай усулига пуфакчали қайнаш дейилади. Температура босими Δt нинг қандайдир бир критик қийматида пуфакчалар бирлашиб яхлит буғ плёнкаси ҳосил бўлади. Бундай қайнашга плёнкали қайнаш тартиби дейилади.

Мос равишда, $\alpha_к$ ҳам, аввало бир текис (AB қисм) ортади, кейин пуфакчаларнинг жадал ҳаракати натижасида конвекция кучайиши сабабли бирданига ортади (BC қисм). Кейинчалик буғ плёнкаси ҳосил бўлиши туфайли термик қаршиликлар ортади, ва натижада ак камаяди.

Плёнка иситиш юзасини тўлиқ қоплаб олганда, иссиқлик алмашинуви барқарорлашади ва Δt нинг кейинчалик ортишида ҳам ак деярли ўзгармайди.

Пуфакчали қайнашни плёнкали қайнашга ўтиш соҳасида, $q=f(\Delta t)$ боғланиш энг катта қийматга эга бўлади. Шу пайтга мос келган Δt, q ва ак нинг қийматларига критик қийматлар дейилади.

Сув учун критик параметрлар қуйидагича: $\Delta t_{кр}=25$ С; $\alpha_{кр}=46500$ Вт/(м^2·К), $q_{кр}=1{,}46\cdot10^6$Вт/(м^2·соат). Плёнкали қайнаш усули иссиқлик алмашинув аппаратларининг унумдорлигини пасайтиради, баъзи ҳолларда эса, иссиқликни олиб кетилиши ёмонлашгани туфайли, деворнинг куйиб қолишига сабаб бўлади.

Суюқликларнинг критик параметрларини билиш, пуфакчали қайнаш учун шароитни таъминлаш имконини беради, яъни $\Delta t<\Delta t_{кр}$.

$\Delta t_{кр}$ ошиши билан, узатилаётган иссиқлик ҳам ортади. Сув учун пуфакчали қайнашда ва $P=1\div200$ барда:

$$\alpha_к = 3{,}4\, q^{0,7} p_s^{0,12} = 33{,}4 \Delta t^{2,33} p_s^{0,5} \qquad (9.51)$$

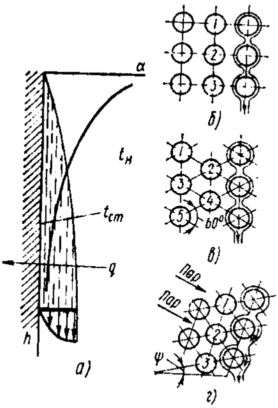
бу ерда p_s - сув буғининг тўйиниш босими.

Конденсатга айланаётган буғ, температураси буғнинг тўйиниш температурасидан паст бўлган деворга тегиб суюқликка айланади, ҳамда деворга яширин конденсация иссиқлигини беради.

Конденсат қаттиқ жисм сиртига яхлит плёнка ва суюқликнинг алоҳида томчилари кўринишида тушади, яъни конденсация плёнкали ёки томчили бўлиши мумкин. Баъзида аралаш конденсация ҳам бўлади, бунда сиртнинг ҳар хил қисмларида ҳам плёнкали, ҳам томчили конденсация кузатилади.

Томчили конденсацияда $\alpha_к$ катта бўлади, лекин у ўзгарувчан бўлиши туфайли кам кузатилади. Кўп қаторли қувурлар тўпламида конденсат юқори қаторлардан пастки қаторларга оқиб тушади ва натижада, плёнка қалинроқ, ак эса кичикроқ бўлиб боради (9.13-расм).

Бу ҳодисани олдини олиш учун тўпламда қувурларни жойлаштиришнинг турли усуллари ишлаб чиқилган. Тўпламнинг ўзи φ бурчакка бурилган, қувурлар эса, 60 бурчак остида ромбсимон жойлашганда $\alpha_к$ нинг қиймати энг катта бўлади. Қувурларнинг бундай жойлаштириш схемасига Жинаба схемаси дейилади (9.13-расм, г).



9.13-расм. Буғнинг пленкали конденсациясида иссиқлик бериш коэффициентининг пластина баландлиги бўйича ўзгариши (а) ва конденсаторда қувурлар жойланишининг схемалари: б – йўлакли, в – ромбик, г – Жинаба схемаси бўйича жойланиши.

Конденсатга айланаётган буғнинг иссиқлик беришига, унинг таркибидаги газ катта таъсир қилади. Газлар иссиқлик алмашинув юзаларида тўпланиб, иссиқлик бериш коэффициентини кескин камайтириб (уларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги кичиклиги туфайли) юборади. Масалан, буғнинг таркибида 1% ҳаво бўлса, ак тахминан 60% га камаяди. Шунинг учун иссиқлик алмашинув аппаратларида, икки фазали муҳитдан газларни сўриб олиш кўзда тутилган.

Турли хил суюқликлар билан олиб борилган тажриба натижаларини умумлаштириб, М.А. Михеев, конденсатга айланаётган буғнинг иссиқлик беришини ҳисоблаш учун қуйидаги критериал тенгламаларни таклиф қилди:

$$N_u=0,42K_o^{0,28}\ (Pr_т/Pr_д)0,25; \qquad (9.52)$$

Горизонтал қувурлар учун

$$N_u=0,72K_o^{0,25}\ (Pr_т/Pr_д)0,25; \qquad (9.53)$$

Бу ерда Ko=Ga·Pr·K - конденсация критерияси. Галилей (Ga) ва Кутателадзе (K) критериялари мос равишда қуйидагига тенг:

$$Ga = gl^3/\nu_г^2; \quad K = r/(c\Delta t),$$

бу ерда l - аниқловчи ўлчам, вертикал сиртлар учун баландлик h га, горизонтал қувурлар учун унинг диаметри d га тенг; c - суюқликнинг иссиқлик сиғими; r-буғ ҳосил қилиш иссиқлиги; Δt - температура босими. $\Delta t=t_т - t_д$, $t_т$ - тўйиниш температураси; ν-суюқликнинг кинематик қовушоқлик коэффициенти. Аниқловчи температура сифатида $t_т$ - тўйинган буғ температураси олинади.

9.9. Алоҳида ҳолларда иссиқлик берилиши

Газларнинг катта тезлик билан ҳаракатланишида иссиқлик берилиши, газ турбиналари, ракеталар ва махсус иссиқлик алмашинув аппаратларини қуришда муҳим аҳамиятга эга.

Газнинг тезлиги ортиши билан, чегара қатламнинг қалинлиги камаяди, оқимнинг тезлик градиенти ошади ва ишқаланиш ортади. Ишқаланишда ажралиб чиққан иссиқлик, газнинг температурасини кўтаришга сарфланади ва натижада газ кенгаяди. Бунинг натижасида газнинг босими, зичлиги, анча ўзгаради, бу эса, газнинг сиқилишини эътиборга олиш зарурлигини билдиради.

Маълумки, газнинг сиқилувчанлиги Mach сони билан аниқланади:

$$M=w/a, \qquad (9.54)$$

Бу ерда w - газнинг маҳаллий тезлиги;
а - товушнинг маҳаллий тезлиги.

Бу ҳолни ҳисоблаш учун адиабатик оқим учун энергия тенгламасидан фойдаланилади (7.4).

$$(w_2^2/2)-(w_1^2/2)+w=h_2-h_1+q$$

Иссиқлик баланси тенгламаси эса, қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Q=mc_p(T_{01}-T_{02}) \qquad (9.55)$$

бу ерда T_{01} ва T_{02} - оқимнинг 1 ва 2 кесимлардаги тормозланиш температураси.

Қуйидаги формулалардан фойдаланиб:

$$h_1+(w_1^2/2)=h_2=h_0 \qquad (9.56)$$

ва

$$T_0=T+\frac{k-1}{kR}\cdot\frac{w^2}{2} \quad \text{ёки} \quad T_0=T+\frac{w^2}{2c_p} \qquad (9.57)$$

тормозланиш температураси T_0 ва термодинамик температура T орасидаги нисбатни аниқлаймиз:

$$T_0/T=1+w^2/(2cp\,T)=1+(k-1)/2M^2 \qquad (9.58)$$

Бундан кўриниб турибдики, M=1 да T_0=1,2T; M=3 да T_0=2,8T; M=5да T_0=6T бўлади.

Газнинг адиабатик оқимида унинг кинетик энергиясининг ортиши, фақат энтальпиянинг камайиши ҳисобига бўлиши сабабли, газнинг тезлиги ошиши билан, унинг температураси камаяди.

Лекин, босим тушиши температура пасайишидан тезроқ бўлади, шу сабабли газнинг зичлиги тезлик ортиши билан камаяди. Бунинг натижасида газ кенгаяди ва тезлик янада ортади.

Ички қаршилик кучлари таъсирида оқим тормозланади ва унинг сиртдаги тезлиги нолга тенг бўлиб қолади. Бунда механик энергия иссиқлик энергиясига айланади. Бу жараёнда газнинг қўшни қатламлари ўртасида иссиқлик ва механик энергия алмашиниб турилади. Бу ҳол, қаттиқ жисм изоляцияланган бўлиб ва жисм билан газ ўртасида иссиқлик бериш бўлмаса ҳам рўй беради. Шунинг учун газнинг бевосита сиртга ёпишиб турган зарралари температураси, сиртдан узоқроқда жойлашган зарралар температурасидан юқори бўлади. Лекин бу температура тормозланиш температурасига тенг бўлмайди.

Иссиқлик изоляцияланган жисмнинг температураси ҳам худди шундай бўлади. Бу температурага хусусий адиабатик ёки мувозанат температураси деб айтилади.

$$T_{хус}=T+r\ w^2/(2c_p)=T[1+r(k-1)M_2/2].\qquad (9.59)$$

Иссиқлик оқимининг зичлиги М.В. Широков формуласидан аниқланади:

$$q=\alpha_к[T+r\ w^2/(2c_p)-T_д]=\alpha_к(t_{хус}-t_д)\qquad (9.60)$$

бу ерда r - ювилаётган сирт шаклига, оқиш усулига, суюқликнинг физик хоссаларига боғлиқ бўлган тикланиш коэффициенти.

(9.60) тенгламадан ак ни аниқлаш учун, агар оқимнинг тезлиги товуш тезлигидан паст бўлса, сиқилмайдиган суюқликлар учун критериал тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

M>1 бўладиган тезликларда, оқимнинг параметрлари ҳам каналнинг узунлиги бўйича, ҳам эни бўйича сезиларли ўзгаради.

Шунинг учун ак нинг маҳаллий қийматларини аниқлаш зарур. Шу ҳол учун критериал тенгламанинг умумий кўриниши қуйидагича бўлади:

$$N_u=c\,\mathrm{Re}^m\,P_r^n(T/T_0)^a\,\varepsilon_l\qquad (9.61)$$

бу ерда T/T_0 газнинг сиқилишини ҳисобга олади,

ε - кувур узунлиги бўйича иссиқлик беришни ҳисобга оладиган тузатиш коэффициенти,

a - тажрибага боғлиқ коэффициент.

9.9.1. Эриган металларнинг иссиқлик бериши

Эриган металлар ўзида газ ва суюқ иссиқлик ташувчиларнинг афзаллик томонларини ўзида бирлаштиради. Улар паст босимларда юқори қайнаш температурасига эга бўладилар (газларга ўхшаб) ва иссиқлик бериш коэффициентлари ҳам катта бўлади (сувга ўхшаб).

Металл иссиқлик ташувчилар орасида энг мувофиқлари натрий ва калий ҳисобланади. Литий, висмут ва қалай камроқ қўлланилади. Суюқ металларнинг зичлиги ва иссиқлик ўтказувчанлиги одатдаги иссиқлик ташувчиларникига нисбатан анча катта, ср эса анча кичик бўлгани туфайли, иссиқлик беришни ҳисоблашда оқиш усулининг деярли аҳамияти қолмайди. Суюқ металларнинг қувурларда оқиши энг катта амалий аҳамиятга эга.

Оғир ва пишқор ҳосил қиладиган металлар ва уларнинг қотишмалари мажбурий турбулент ҳаракатида ак нинг ўртача қиймати қуйидаги тенгламадан аниқланади.

$$\overline{Nu}=4{,}5+0{,}014(\mathrm{Re}_м\mathrm{Pr}_м)0{,}8\varepsilon_l\qquad (9.62)$$

Аниқловчи параметрлар - эриган металнинг ўртача температураси tм ва қувур диаметри d.

Бу тенглама $Re_м=10^4 \div 10^6$; $Pr_м=4 \cdot 10^{-3} \div 3,2 \cdot 10^{-2}$ бўлганда қўлланилади.

Тузатиш коэффициенти ε_l нинг қиймати l/d >0 бўлганда $\varepsilon_l=1$ ва l/d<30 бўлганда $\varepsilon e=1,72(d/l)^{0.16}$.

Иссиқлик оқимининг йўналишини деярли аҳамияти йўқ, шу-нинг учун Prм/Prg=1.

Nu=f(Re,Pr) графигининг таҳлили шуни кўрсатадики, ламинар оқимдан турбулент оқимга ўтишда графикда кескин ўзгаришлар бўлмайди.

Бунга сабаб шуки, металларнинг термик қаршилиги кичик (яъни иссиқлик ўтказувчанлик юқори), бунинг натижасида турбулентлик ак ни бироз оширади холос.

Оғир ва ишқор ҳосил қиладиган металлар ва уларнинг қотишмалари эркин ҳаракатланганда ҳисоблаш ишлари учун қуйидаги критериал тенгламадан фойдаланилади:

$$Nu_ж = cG_ж^m Pr_ж^n \qquad (9.63)$$

бу ерда $n=0,3+0,02/P_{гм}^{0,33}$.

$Gr_ж=102 \div 109$ бўлганда (ламинар оқиш) c=0,52 ва m=0,25; $G_{гм}>10^9$ бўлганда (турбулент оқиш) c=0,105 ва m=0,33.

Аниқловчи параметр - чегара қатламининг ўртача температураси $tr=0,5(t_ж+t_д)$; вертикал ясси деворлар учун аниқловчи ўлчам - баландлик, горизонтал қувурлар учун - диаметр.

Назорат учун саволлар

1. Ньютон - Рихман қонуни.
2. Иссиқлик бериш коэффиценти.
3. Иссиқлик бериш коэффициенти қандай катталикларга боғлиқ?
4. Ламинар оқимга таъриф беринг.
5. Турбулент оқим қачон пайдо бўлади?
6. Рейнольдс сони нимани аниқлайди?
7. Суюқликнинг қандай физик хоссаларини биласиз?.
8. Конвектив иссиқлик алмашинувининг дифференциал тенгламаси.
9. Ўхшашликлар назариясининг моҳияти нимадан иборат?
10. Нуссельт сони нимани аниқлайди?
11. Пекле сони нимани тавсифлайди?
12. Ўхшашлик шартларини келтиринг.
13. Ўхшаш сон ва аниқловчи сонинг фарқи нимадан иборат?
14. Моделлаштиришнинг аҳамияти нимадан иборат?
15. Табиий конвекцияда иссиқлик беришни узатиш коэффициенти қандай аниқланади?

ЎНИНЧИ БОБ

НУРЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШИШ

10.1. Асосий тушунчалар

Иссиқлик техникасининг юқори температуралар соҳасида, нурли иссиқлик алмашиш ўзининг жадаллиги билан бошқа иссиқлик алмашинув усулларидан устун туради. Шунинг учун юқори температураларда ишлайдиган агрегатларни яратишда, нурли иссиқлик алмашинишидан юқори даражада фойдаланишни эътиборга олиш лозим. Бу аввало, қозон қурилмаларига, саноат печларига таааллуқлидир. Қурилиш материаллари корхоналарида, цемент, оҳак, шамот ва бошқа материалларни ишлаб чиқаришда бундай печлар кенг қўлланилмоқда.

Иссиқлик бир жисмдан иккинчисига нур орқали узатилиш жа-раёни нурли иссиқлик алмашинуви дейилади. Иссиқлик нурларининг тарқалиши бу жисм ички энергиясининг электромагнит тўлқин энергиясига айланишидир. Температураси абсолют нолдан фарқли бўлган ҳамма жисмлар нур тарқатади.

Нурланиш энергияси асосан нур тарқатаётган жисмнинг физик хоссалари ва температурасига боғлиқдир. Электромагнит тўлқинлар бирбиридан тўлқин узунлиги ёки тебраниш частотаси билан фарқланади. Агар тўлқин узунлиги λ, тебраниш частотасини N билан белгиласак, у ҳолда барча нурлар учун вакуумдаги тезлик $w=\lambda N=3\cdot 108$ м/с бўлади.

Нур энергиясини ташувчи зарра сифатида фотон қабул қилинган. Фотон (юнон phos(photos) - ёруғлик) ҳаракатланаётган вақтда маълум массага эга, тинч ҳолатда унинг массаси нолга тенг бўлади.

Нурлар орасида кўзга кўринадиган ($l=0,4\div0,8$мкм) ва инфрақизил ($\lambda=0,8\div800$ мкм) нурлар кўп миқдорда иссиқлик энергиясини элтганлиги сабабли улар иссиқлик нурлари дейилади.

Кўпчилик қаттиқ ва суюқ жисмлар 0 дан ∞ гача оралиқда бўлган барча тўлқин узунлигидаги энергияни чиқаради, яъни бу жисмларнинг нурланиш спектрлари яхлит (туташ) бўлади. Баъзи жисмлар узлукли спектрли, яъни фақат муайян тўлқин узунликлар оралиғида энергия нурлантиради. Уларга қиздирилган газлар ва буғлар киради.

Нур чиқараётган жисмнинг фақат температураси ва оптик хоссалари билан аниқланадиган нурланиш иссиқлик нурланиши дейилади.

Жисмга ютилган иссиқлик нурлари атом ва молекулаларнинг тартибсиз иссиқлик ҳаракат энергиясига айланади ва жисмнинг температурасини оширади.

Иссиқлик нурланишини тавсифлайдиган асосий катталикларга қуйидагилар киради: нурий оқим Q, нурланиш зичлиги E ва нурланиш жадаллиги (оқимнинг спектраль зичлиги) J.

Вақт бирлиги ичида, тўлқин узунлиги λ дан λ+δλ бўлган оралиқда мос бўлган нурланиш энергиясига оқимнинг монохроматик нурланиши Q_λ дейилади. Спектрнинг 0 дан ∞ гача оралиқдаги тўлқин узунликларига мос бўлган барча нурланишга интеграл ёки нурий оқим Q дейилади.

Жисмнинг юза бирлигидан барча йўналишлар бўйича нурланаётган нурли оқимга жисмнинг интеграл нурланиш зичлиги дейилади.

$$E=dQ/dF \qquad (10.1)$$

Нурланаётган жисмнинг барча юзаси бўйича тарқалаётган нурли оқим:

$$Q=\int_F EdF$$

Тўлқин узунлигининг чексиз кичик орлағида таракалаётган оқим зичлигини, шу оралиқ катталигига нисбати оқимнинг спектрал зичлиги (жадаллиги) дейилади:

$$J_\lambda=dE/d_\lambda \qquad (10.2)$$

Жисм сиртига тушган барча нурий энергия Q нинг бир қисми QA жисмга ютилади, бир қисми Q_R ундан қайтади, қолган қисми QД эса, жисм орқали ўтиб кетади, яъни

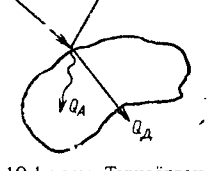
$$Q=Q_A+Q_R+Q_Д \qquad (10.3)$$

Нурланиш энергиясини тарқатиш, ютиш, қайтариш ва ўтказиш жараёнларининг йиғиндисига нурли иссиқлик алмашиш дейилади.

(10.3) тенгликнинг иккала қисмини нурий энергиянинг умумий миқдори Q га бўлсак, қуйидагини оламиз:

$$\frac{Q_A}{Q}+\frac{Q_R}{Q}+\frac{Q_Д}{Q}=A+R+Д=1, \qquad (10.4)$$

бу ерда $A=\frac{Q_A}{Q}, R=\frac{Q_R}{Q}, Д=\frac{Q_Д}{Q}$ - мос равишда юти лиш, қайтариш ва ўтка зиш хусусиятини тавсифлайди (10.1-расм).



10.1-расм. Тушаётган нурланишнинг тақсимланиши

(10.4) тенглик нурланиш энергияси иссиқлик балансининг тенгламаси дейилади.

Агар A=1 бўлса, (яъни R=Д=0), у ҳолда жисм ўзига тушадиган барча нурланишни ютади. Бундай жисм абсолют қора жисм дейилади.

Агар R=1 бўлса, (яъни A=Д=0), жисм ўзига туш-

ган барча нурий энергияни қайтаради. Агар қайтариш геометрик оптика қонунла-рига бўйсунса, у ҳолда жисмнинг сирти кўзгу сирт дейилади. Агар жисмдан нур диффузион қайтса, (лот.diffusio-тарқалиш, оқиш), бундай жисмга абсолют оқ жисм дейилади.

Агар Д=1 бўлса, (яъни А=R=0), у ҳолда жисм ўзига тушаёт-ган нурларнинг ҳаммасини ўтказиб юборади ва абсолют тиниқ (шаф-фоф), яъни диатермик жисм дейилади.

Табиатда абсолют қора, оқ ва тиниқ жисмлар бўлмайди. Нефть қуруми, қор ва муз ўзининг хоссалари жиҳатидан абсолют қора жисмга яқин туради. Уларнинг ютилиш коэффициенти А=0,9÷0,96.

Металларнинг силлиқланган сирти учун R=0,97 га тенг. Бир ва икки атомли газларнинг ҳаммасини диатермик (Д ≈ 1) жисмлар деб ҳисоблаш мумкин. Уч атомли ва кўп атомли газлар, уларнинг аксинча иссиқлик энергиясини ютади ва чиқаради.

Ҳаво ҳам деярли шаффоф муҳит ҳисобланади, лекин унинг таркибида сув буғлари бўлса, унинг шаффофлиги кескин камаяди. Реал жисмлар оз ёки кўп даражада қора, кўзгусимон ва тиниқ бўлади.

Спектраль ютиш хусусияти тушаётган нурланишнинг тўлқин узунлигига боғлиқ бўлмаган жисмлар кул ранг жисмлар дейилади. Барча реал жисмлар учун А, R ва Д коэффициентлар доимо бирдан кичик бўлади.

Амалда, реал жисмларни кул ранг жисмлар деб қабул қилиш мумкин. Шуни назарда тутиш лозимки, иссиқлик нурларини қайтариш ва ютишда сиртнинг ранги эмас, балки сиртнинг ҳолати катта аҳамиятга эга. Масалан, оқ сирт фақат ёруғлик нурларини яхши қайтаради, кўринмас иссиқлик нурларини эса, қора сиртга ўхшаб яхши ютади.

10.2. Иссиқлик нурланишининг асосий қонунлари

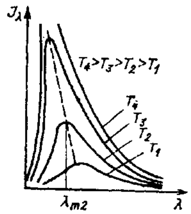
Планк қонуни. Абсолют қора жисмлар абсолют нолдан юқори температурада ўзидан фазога барча тўлқин узунликдаги нурларни тарқатиб туради. Бир хил температурада абсолют қора жисмларнинг нурланиш жадаллиги бошқа реал жисмларникига қараганда юқори бўлади. Нурланиш жадаллиги J_{λ_0} ни тўлқин узунлиги χ ва температу-ра Т га боғлиқлиги Планк қонуни билан белгиланади:

$$J_{\lambda_0} = \frac{C_1}{\lambda^5}\left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1\right)^{-1} \qquad (10.5)$$

бу ерда C_1=0,374·10-15Вт·м²; C_2=1,4388·10⁻² м·К - Планк доимийлари; е - натурал логарифм асоси.

Нурланиш жадаллигини тўлқин узунлиги ва температура бўйича Планк қонунига асосан тақсимланиши 10.2-расмда тасвирланган.

Вин қонуни. 10.2-расмдан кўриниб турибдики, жисмнинг температураси орттирилса, унинг нур тарқатиш жадаллигининг максимуми



10.2-расм. Абсолют қора жисмнинг нурланиш жадаллигини тўлқин узунлиги ва температурага боғлиқлиги

қисқа тўлқин томонга силжийди. Бу қонуниятни В. Вин 1893 йили таклиф этган ва унинг математик ифодасини берган:

$$\lambda_{max}=0,0028989/T$$

ёки

$$T\lambda_{max}=в=2,898\cdot10^{-3}м\cdot K \qquad (10.6)$$

Бу В.Виннинг силжиш қонуни дейилади. Силжиш қонунига мувофиқ жисмлар нур кўринишида тарқатадиган электромагнит тўлқ-инларнинг жадаллиги ҳар хил температурада турлича бўлади. Маса-лан, электр иситкичнинг температураси T=1100 K бўлганда, у $\lambda_{max}=3\cdot10^{-6}$м бўлган тўлқин узунликдаги нурни тарқатади, унинг спек-три асосан инфрақизил нурдан иборат бўлади. Қуёш (T=5500 K) нури тўлқин спектрини олсак, ундаги тўлқин узунлик $\lambda_{max}=5\cdot10^{-7}$м га тўғри келади. Бу тўлқин узунлик спектрнинг кўзга кўринадиган қисмига тўғри келади.

Стефан-Больцман қонуни. Тажриба натижалари асосида И. Стефан (1879 йили) қуйидаги қонуниятни аниқлади: абсолют қора жисмнинг нурланиш хусусияти унинг абсолют температурасининг тўртинчи да-ражасига тўғри пропорционал бўлади. Бу қонуниятни 1884 йили А. Больцман назарий жиҳатдан исботлаб берган.

$$E_0 = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J_{\lambda,0} d\lambda = C_0 \left(\frac{T}{100}\right)^4, \qquad (10.7)$$

бунда C0 - абсолют қора жисмнинг нурланиш коэффициенти. [C0=5,67Вт/(м²·К4)]; T - жисм сиртининг температураси, К.

Бу қонунни яна қуйидаги кўринишларда ҳам ёзиш мумкин:

$$E_0=G_0T^4, \qquad (10.8)$$

Кул ранг жисмлар учун:

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon C_0\left(\frac{T}{100}\right)^4 = C\left(\frac{T}{100}\right)^4 \qquad (10.9)$$

бу ерда G0 - $5,67\cdot10^{-8}$Вт/(м²·К) - Стефан доимийси; C - кул ранг жисмнинг нурланиши; $\varepsilon=E/E_0$ - кул ранг жисмнинг қоралик даража-си.

Кирхгоф қонуни. Абсолют қора ва кулранг жисмларнинг иссиқлик нурларини ютиш ва тарқатиш хоссалари орасидаги боғланишни Г. Кирхгоф 1882 йили ўрганиб, қуйидаги қонуниятни очган:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \frac{E_3}{A_3} = \ldots\ldots \frac{E_0}{A_0} = E_0(T), \qquad (10.10)$$

бу ерда $E_0(T)$ - абсолют қора жисмнинг нурланиш хусусияти.

Жисмнинг нур чиқариш (нурланиш) хусусиятининг ютиш хусусиятига нисбати жисмнинг табиатига боғлиқ эмас ва бир хил температурадаги барча жисмлар учун бир хил бўлиб, шу температурадаги абсолют қора жисмнинг нурланиш хусусиятига тенг.

(10.10) тенгламадан кўриниб турибдики, кул ранг жисмнинг ютилиш коэффициенти қанчалик катта бўлса, у шунчалик кўп нурланади. Ютилиш коэффициенти бирдан кичик ($0<A<1$) бўлгани сабабли, бир хил температурада кул ранг жисмнинг нурланиш хусусияти E, абсолют қора жисмнинг нурланиш хусусиятидан кичик бўлади.

Кирхгоф қонунидан, (10.10) ва (10.9) тенгламалардан кўриниб турибдики, кул ранг жисмнинг қоралик даражаси сон жиҳатдан унинг ютиш хусусиятига тенг:

$$A=\varepsilon \qquad (10.11)$$

ε катталик ўзгармас бўлгани учун, кул ранг жисмнинг ютиш хусусияти тўлқин узунлигига ва температурага боғлиқ эмас.

10.6-жадвалда баъзи кул ранг жисмларнинг қоралик даражаси келтирилган.

Ламберт қонуни Жисм сочаётган нурланиш энергияси фазода ҳар хил жадаллик билан тарқалади. Нурланиш жадаллигини йўналишга боғлиқлигини белгилайдиган қонунга Ламберт қонуни деб айтилади.

Ламберт қонунига асосан, абсолют қора жисм сиртидан турли йўналишлар бўйича нурланаётган энергия миқдори, берилган йўналиш ва жисм сиртига туширилган нормал ўртасидаги бурчакнинг косинусига пропорционалдир.

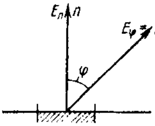
$$E\varphi=E_n\cos\varphi, \qquad (10.12)$$

Бу ерда E_n - нормал бўйича нурланиш энергияси.

Турли материалларнинг қоралик даражаси.

10.6-жадвал

Материал	t,°C	ε	Материал	t,°C	ε
Алюминий (силлиқланган)	50-500	0,04-0,06	Ёғоч	20-70	0,8-0,9
Бронза	50	0,1	Қоғоз	20-100	0,9
Олтин (силлиқланган)	200-600	0,02-0,03	Шиша	20-100	0,9-0,92
Қизил ғишт	25-300	0,9	Мойли бўёқ	20-100	0,86-0,92
Гипс	20	0,9	Лак	20-100	0,8-0,95
Асбест	20-300	0,9-0,95	Оқ эмаль	20	0,9



10.3-расм. Жисмнинг турли йўналишлар бўйича нурланиши (Ламберт қонунига доир)

Демак, нурланиш сиртига перпендикуляр бўлган йўналишда энергия энг кўп нурланади, яъни $\varphi=0$ да. φ бурчак ортиши билан нур-ланиш энергияси камаяди ва $\varphi=90°$ да нолга тенг бўлади (10.3-расм).

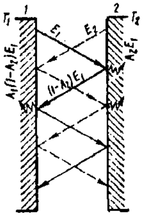
Ламберт қонуни абсолют қора жисм учун тўғри бўлиб, ғадир-будур кул ранг жисмлар учун бу қонун фақат $\varphi=0 \div 60°$ да тўғридир.

10.3. Қаттиқ жисмлар орасида нурли иссиқлик алмашинуви.

Параллел сиртлар. Маълумки, барча жисмлар абсолют нолдан юқори температурада ўзидан фазога электромагнит тўлқинларни тарқатиб туради. Шунинг учун жисмнинг тўлиқ нурланиш энергиясини ҳисоблашда жисмнинг ўзини нурланиш энергиясини (E_1) ҳам ҳисобга олиш керак.

Агар бошқа жисмлар томонидан шу жисмга энергияси E_2 бўлган нурланиш тушса, шундан A_1E_2 энергия ютилади, $(1-A_1)$. E_2 энергия қайтади, у ҳолда (Д=0)

$$E_{эф1}=E_1-A_1E_2=E_1+(1-A_1)E_2-E_1+R_1E_2 \qquad (10.13)$$



10.4-расм. Икки параллел сиртлар орасида нурли иссиқлик алмашинуви схемаси

$E_{эф1}$ катталикни жисмнинг эффектив нурланиши дейилади. Икки параллел сиртлар мисолида қаттиқ жисмлар орасидаги иссиқлик ал-машинувини кўриб чиқайлик (10.4-расм).

Бу сиртларнинг температуралари мос равишда T_1 ва T_2 ($T_1>T_2$) ва ютилиш коэффициентлари A_1 ва A_2 бўлсин.

Сиртлар орасидаги масофани шундай танлаймизки, натижада ҳар бир сиртнинг нурланиши наригисига етиб борсин. Бу сиртлар ора-сидаги нурли иссиқлик алмашинуви катталиги қуйидагига тенг:

$$E=E_{эф1}-E_{эф2},$$

Бунда
$$E_{эф1}=E_1+(1-A_1)E_{эф2},$$

$$E_{эф2}=E_2+(1-A_2)E_{эф1}.$$

Бу тенгламалар тизимини $E_{эф1}$ ва $E_{эф2}$ га нисбатан ечиб, E_1 ва E_2 ўрнига Стефан -Больцман қонунидан уларнинг ифодасини ва A_1 ҳамда A_2

ўрнига мос равишда ε_1 ва ε_2 ларни (чунки А=е) қўямиз. Ўзгартиришлардан сўнг қуйидаги тенгликни ҳосил қиламиз:

$$Q = EF = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} Co\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]F \qquad (10.14)$$

бу ерда $\theta = \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4$ - температура кўпайтирувчиси дейилади;

$E_k = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$ - жисмлар тизимининг келтирилган қоралик даражаси дейилади;

$$C_k = C_o C_k = \frac{1}{1/C_o\varepsilon_1 + 1/C_o\varepsilon_2 - 1/C_o} = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + C_o} = \frac{Q}{\theta F\tau}$$

келтирилган нурланиш коэффициенти дейилади.

Келтирилган нурланиш коэффициенти, агар температура кўпайтирувчиси 1 К ва ҳар бир сиртнинг юзаси 1м^2 бўлса, 1-сиртдан 2-сиртга 1 с да узатилаётган нурланиш энергиясини билдиради.

Демак, (10.14) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q = \varepsilon_k C_o \theta F = C_k \theta F[Bm] \qquad (10.15)$$

Шундай қилиб, нурли иссиқлик алмашинувини жадаллигини орттириш учун ек ва q ни яъни иссиқлик алмашинувида иштирок этаётган сиртларнинг қоралик даражасини ва температуралар фарқини орттириш лозим.

Жисм ва унинг қобиғи орасидаги нурли иссиқлик алмашинуви Техни-када, бир жисм иккинчи жисм ичида жойлашган ҳолдаги нурли иссиқлик алмашишини ҳисоблаш каби масалалар кўп учрайди (10.5-расм).

10.5-расм. Ёпиқ жойда жисмлар орасидаги нурли иссиқлик алмашиш схемаси

Ички жисм катталикларини A_1, C_1, ε_1, T_1, F_1 ва ташқи жисм катталикларини A_2, C_2, ε_2, T_2, F_2 орқали белгилаймиз. Параллел сиртлар ўртасидаги иссиқлик алмашинувидан фарқли равишда ички жисм-га ташқи жисм нурланишидан фақат φ қисми тушади холос, энергиянинг қолган қисми $(1-\varphi)$ ташқи жисмнинг сиртига тушади.

Ички жисмнинг эффектив нурланиши ўзининг нурланишидан ва ташқи жисмдан тушган нурланишдан (буни ички жисм қайтаради) ташкил топади.

$$E_{1эф} = E_1F_1 + (1-A_1)\varphi E_{2эф}, \qquad (10.16)$$

Ташқи жисмнинг эффектив нурланиши ўзининг нурланишидан, ички жисмдан қайтган ва ўзининг нурланишидан қайтган энергиялардан ташкил топади.

$$E_{2эф}=E_2F_2+(1-A_2)E_{1эф}+(1-A_2)(1-\varphi)E_{2эф} \qquad (10.17)$$

Жисмлар ўртасидаги иссиқлик алмашинуви катталиги қуйидагига тенг:

$$\varphi=E_{1эф}-E_{2эф} \qquad (10.18)$$

(10.16) ва (10.17) тенгламаларни биргаликда ечиб ва $E_{1эф}$ ва $E_{2эф}$ ни охирги тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$Q=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{C_2}-\frac{1}{C_0}\right)}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]F_1 \qquad (10.19)$$

$$C_k=\frac{1}{C_1+\frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{C_2}-\frac{1}{C_0}\right)}$$ деб белгилаймиз.

У ҳолда жисм ва унинг қобиғи ўртасидаги нурли иссиқлик алмашинуви қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Q=C_kF_1[(T_1/100)^4-(T_2/100)^4] \qquad (10.20)$$

Агар Ck ўрнига жисмлар тизимининг келтирилган қоралик даражасини қўйсак, у ҳолда (10.20) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q=\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{F_1}{F_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2}-1\right)}C_0F_1\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \qquad (10.21)$$

Агар $F_1 \ll F_2$ бўлса, у ҳолда $F_1/F_2 \approx 0$ бўлади ва $C_k=C_1$ бўлиб, иссиқлик алмашинув тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

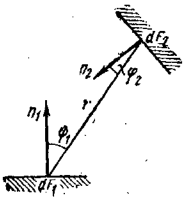
$$Q=C_1F_1[(T_1/100)^4-(T_2/100)^4] \qquad (10.22)$$

Ихтиёрий жойлашган жисмлар Ихтиёрий жойлашган жисмлар учун нурли иссиқлик алмашинув тенгламасини келтириб чиқариш жуда қийин бўлиб, бу масала фақат баъзи содда ҳоллар учун ўз ечимини топган (10.6-расм).

Иккита ихтиёрий жойлашган жисмлар учун нурли иссиқлик алмашишини қуйидаги формуладан ҳисоблаш мумкин:

$$Q=\frac{C_1C_2}{C_0}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)\right]\int_{F_1}dF_1\int_{F_2}\frac{\cos\varphi_1\cdot\cos\varphi_2}{\pi r^2}dF_2,$$

бунда $\frac{C_1 C_2}{C_0}$ – шу жисмлар тизимининг келтирилган нурланиш коэффициенти; $\int\limits_{F_1} dF_1 \int\limits_{F_2} \frac{\cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2}{\pi r^2} dF_2$ – нурланишнинг бурчак коэффициенти.



10.6-расм.

Бу катталик нурланаётган жисмларнинг ўлчамига, шаклига ва ўзаро жойланишига боғлиқдир. Бурчак коэффициентни математик ҳисоблаш содда ҳоллар учун ҳам қийин бўлиб, уни асосан график усулда аниқланади. Техник масалаларни ечишда, бурчак коэффициенти одатда жадвалдан олинади.

10.4. Экранлар

Техниканинг турли соҳаларида нурли иссиқлик алмашинув жадаллигини камайтириш лозим бўлади. Масалан, температураси юқори бўлган цехларда ишчиларни иссиқлик нурларидан ҳимоя қилиш керак бўлади. Шунинг учун нур энергиясини камайтириш мақсадида турли хил геометрик шаклдаги тўсиқлар (экранлар) қўйилади. Бу би-лан иссиқлик техникаси асбоб-ускуналари ҳимояланади ва уларнинг яхши ҳолда узоқ муддат ишлаши таъминланади.

Одатда, экранлар қайтариш хусусияти юқори бўлган юпқа металл тунукадан тайёрланади. Икки параллел сиртлар ўртасида жой-лашган экранни иссиқлик узатишга таъсирини кўриб чиқайлик. Сиртлар ва экран юзаларини бир хил деб ҳисоблаймиз, сиртлар температураси T_1 ва T_2 ўзгармас бўлиб, $T_1 > T_2$ бўлсин. Сиртлар ва экраннинг нурланиш коэффициентларини ҳам бир-бирига тенг деб олайлик.

У ҳолда, экрансиз сиртлар орасидаги, биринчи сирт ва ва экран орасидаги ҳамда экран ва иккинчи сирт орасидаги келтирилган нурланиш коэффициентлари бир хил бўлади. Биринчи сиртдан иккинчи сиртга узатилаётган иссиқлик оқимини (экрансиз) қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз:

$$q_0 = C_k\left[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4\right]$$

Биринчи сиртдан экранга узатилаётган иссиқлик оқимини қуйидаги формуладан топамиз:

$$q_1 = C_k\left[(T_1/100)^4 - (T_{эк}/100)^4\right]$$

Экрандан иккинчи сиртга узатилаётган иссиқлик оқимини эса, қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз:

$$q_2 = C_k[(T_{эк}/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

Иссиқлик алмашинуви турғун, яъни сиртлар температуралари ўзгармас бўлганда $q_1 = q_2$ бўлади. Шунинг учун:

$C_k[(T_1/100)4-(T_{эк}/100)4]=C_k[(T_{эк}/100)4-(T_2/100)4]$,

Бундан

$$(T_{эк}/100)^4 = \frac{1}{2}[(T_1/100)^4 + (T_2/100)^4]$$

Экран температураси ифодасини юқоридаги тенгламаларга қўйиб, биринчи сиртдан иккинчи сиртга экран орқали ўтган иссиқлик оқимини аниқлаймиз:

$$q_{1-2} = \frac{1}{2}C_k[(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

Биринчи ва охирги тенгламаларни таққослаб, сиртлар ўртаси-да экран бўлганда иссиқлик алмашинуви икки марта камроқ бўлиши-ни аниқлаймиз:

$$q_{1-2} = \frac{1}{2}q_0 \quad (10.23)$$

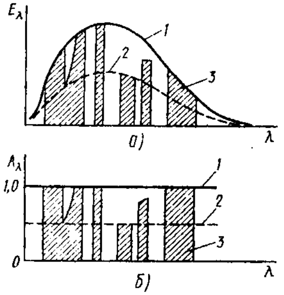
Экранлар сонини орттириш усули билан нур иссиқлиги алма-шинувини бир неча ўн марталаб камайтириш мумкин. Нур иссиқлик алмашинуви экран материалига ва унинг сиртининг ҳолатига боғлиқ. Масалан, оксидланган темир тунукаси экран сифатида қўлланилса, бу экран нур иссиқлиги миқдорини 13 марта, шундай тунукадан учтаси қўйилса, 39 марта камайтиради.

10.5. Газларнинг нурланиши

Газларнинг нурланиши қаттиқ жисмларнинг нурланишидан кескин фарқ қилади. Бир ва икки атомли газларнинг (водород, кислород, азот, гелий ва бошқалар) нур чиқариш ва ютиш хусусиятлари ниҳоятда кичик. Улар иссиқлик нурлари учун шаффоф ҳисобланадилар. Уч ва кўп атомли газларнинг (CO_2, H_2O ва бошқалар) нурланиш ва нур ютиш хусусиятлари юқори бўлиб, бундан амалда фойдаланилади.

Газларнинг аксарияти маълум тўлқин узунликдаги нурларни чиқаради ва ютади, яъни улар нур чиқариш - ютишда танлаш хусусиятига эгадирлар (10.7-расм).

Бунга асосий сабаб шуки, газларда нур чиқариш ва ютиш эркин молекулалар томонидан амалга оширилади. Қаттиқ жисмларда эса, бу



10.7-расм. Нурланиш (а) ва ютиш (б) спектрлари:
1-абсолют қора жисм; 2-кул ранг жисм; 3-газ

жараён ниҳоятда кўп боғланган молекулалар томонидан амалга оширилади.

Эркин молекулалардаги электронларнинг энергия сатҳи ҳар бир модда учун маълум бир қийматга эга бўлади. Шунинг учун элек-тронлар бир сатҳдан бошқасига ўтганда, маълум бир энергияли фотонни ютади ёки тарқатади. Қаттиқ жисмларда эса электронлар қўшни атомларнинг таъсир кучлари остида бўлади. Шу сабабли, нур чиқариш ва ютишда маълум бир энергияли электронлар эмас, балки барча имконияти борлари иштирок этади.

Газларда нурли иссиқлик алмашинувининг бошқа хусусиятла-ридан бири шундан иборатки, нур чиқариш ва ютиш жараёнида газ-нинг барча микрозарралари иштирок этади. Маълумки, қаттиқ жисм-ларда эса, аниқ бир сирт иштирок этади. Бу хусусият эса, газлардаги иссиқлик алмашинувини ҳисоблашни мураккаблаштириб юборади.

Газ тарқатаётган ёки ютаётган энергия миқдори газнинг температурасига, газ қатлами қалинлигига ва молекулаларнинг концентрациясига боғлиқ.

Молекулаларнинг концентрацияси газнинг парциал босими Р билан, газ қатламининг қалинлиги эса нурнинг ўртача узунлиги l билан белгиланади. Газ нурланишининг интеграл ютиш хусусияти A_λ ва спектрал жадаллиги E_λ газ температурасининг Т ва Pl кўпайтманинг функцияси сифатида аниқланади.

$$\left.\begin{aligned} A_\lambda &= f(T, pl); \\ E_\lambda &= \varphi(T, pl). \end{aligned}\right\} \qquad (10.24)$$

Тажрибадан, газларнинг нурланиш хусусияти абсолют температуранинг n-даражасига пропорционал эканлиги аниқланган. Карбонат ангидрид учун n=3,5, сув буғи учун n=3 га тенг.

Тахминий ҳисоблашда газларнинг нурланиши температуранинг тўртинчи даражасига пропорционал деб ҳисобланади.

Температураси Тг бўлган газ билан, уни ўраб турган Тм температурали муҳит ўртасидаги иссиқлик алмашинуви қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q = C_0 \varepsilon_{эф} \left[\varepsilon_г \left(\frac{T_г}{100}\right)^4 - A_г \left(\frac{T_м}{100}\right)^4 \right] F_м, \qquad (10.25)$$

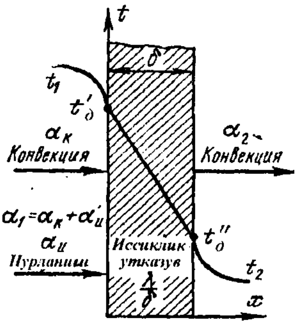
бунда $\varepsilon_{эф}$ - муҳитнинг эффектив қоралик даражаси; $\varepsilon_г$ ва $A_г$ - мос равишда газнинг Тг температурадаги қоралик даражаси ва унинг Тм температурадаги ютиш хусусияти; Fм - иссиқлик алмашинув юзаси.

$\varepsilon_{эф}$ ни тахминан қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$\varepsilon_{эф} = \frac{\varepsilon_{g} + 1}{2},$$

бунда ε_g - деворнинг қоралик даражаси (ε_g =0,7÷0,9). $\varepsilon_г$ ва $A_г$ нинг қийматлари махсус адабиётлардаги номограммалардан аниқланади.

10.6. Мураккаб иссиқлик алмашиш жараёнлари



10.8-расм. Мураккаб иссиқлик алмашиш схемаси.

Иссиқликнинг температураси юқори бўлган жисмдан темпера-тураси паст бўлган жисмга қаттиқ девор орқали узатилиши техникада энг муҳим ва кўп фойдаланиладиган жараёнлардан биридир.

Бундай иссиқлик узатишда барча иссиқлик алмашинув усул-лари - иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва нурланиш баравар иш-тирок этадилар. Барча иссиқлик алмашинув усулларини ҳисобга ола-диган иссиқлик алмашинувга мураккаб иссиқлик алмашиш дейилади (10.8-расм).

Мураккаб иссиқлик алмашишда узатилган иссиқлик миқдори q_1 конвектив иссиқлик алмашинувда узатилган иссиқлик миқдори qк ва нурли иссиқлик алмашинувда узатилган иссиқлик миқдори $q_н$ ларнинг йиғиндисига тенг.

$$q = q_к + q_н = \alpha_к (T - T_g) + \alpha_н (T - T_g) = \alpha(T - T_g), \qquad (10.26)$$

бу ерда $\alpha=\alpha_к+\alpha_н$; $\alpha_н$ - нурли иссиқлик алмашинув коэффициенти; α - эффектив иссиқлик бериш коэффициенти;
$\alpha_н$ коэффициент қуйидаги тенгликдан аниқланади:

$$\alpha_н = \frac{q_н}{T - T_g} = \frac{C_к [(T/100)^4 - (T_g/100)^4]}{T - T_g}, \qquad (10.27)$$

бу ерда Т - суюқлик ёки газ температураси; Tg - девор тем-ператураси; Ск - келтирилган нурланиш коэффициенти.

Текшириляётган ҳол учун (10.8-расм), иссиқлик узатиш коэф-фициенти қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{к1} + \alpha_1} + \sum\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{к2} + \alpha_{н2}}} \qquad (10.28)$$

Юқорида айтиб ўтилганлардан кўриниб турибдики, а ниҳоятда мураккаб катталик бўлиб, у турли омилларга боғлиқ бўлади. Айниқса, а га температуранинг таъсири катта бўлади. Масалан, жисм билан ҳавонинг табиий конвекциясида: tg=0°C; $Gr \cdot Pr = 10^8 \div 10^{12}$; $C_k=4,7$ ВТ/($м^2$·К4); бўлганда, агар t= 150°C бўлса. $\alpha_в=\alpha_к=8,3$ Вт/($м^2$·К); t=500°C бўлса $\alpha_в \approx 4\alpha_к$; t=1000°C бўлса $\alpha н \approx 20 \cdot \alpha_к$ бўлади.

Баъзи ҳолларда қаттиқ жисм билан атроф муҳит ўртасида иссиқлик алмашинуви фақат бир усулда амалга ошади. Масалан, қаттиқ жисм билан томчи суюқлик иссиқлик алмашинуса нурланиш бўлмайди, чунки томчи суюқликлар нурни деярли ўтказмайди ва бу ҳол учун а"ак. Агар жисмлар ўртасида иссиқлик алмашинуви чуқур вакуум шароитида рўй берса, у ҳолда конвекция иссиқлик алмашишга деярли таъсир этмайди ва $\alpha \approx \alpha_н$ бўлади. Соф ҳолда нурли иссиқлик алмашиш тўлиқ вакуумда рўй беради.

Назорат учун саволлар

1. Нурланишга таъриф беринг.
2. Нурланиш энергияси қандай аниқланади?
3. Абсолют қора жисм деб нимага айтилади?
4. Абсолют оқ жисм.
5. Планк қонунини таърифланг.
6. Вин қонуни.
7. Стефан - Больцман қонуни.
8. Нурланиш коэффициенти.
9. Кирхгоф қонуни.
10. Ламберт қонуни.
11. Кул ранг жисм деб қандай жисмга айтилади?
12. Параллел сиртлар орасида нурли иссиқлик алмашинуви қандай катталикларга боғлиқ?
13. Эффектив нурланиш.
14. Экранлар қачон қўлланилади?
15. Газларнинг нурланиши.
16. Мураккаб иссиқлик алмашинуви деб нимага айтилади?
17. Иссиқлик узатиш коэффициенти.

ЎН БИРИНЧИ БОБ

ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВ АППАРАТЛАРИ

11.1. Иссиқлик алмашинув аппаратлари ҳақида умумий маълумотлар.

Иссиқлик ташувчини қиздириш ёки совитиш учун мўлжалланган қурилма иссиқлик алмашинув аппарати (ИАА) дейилади. Иссиқлик ташувчи сифатида суюқлик ёки газ ишлатилади. Иссиқлик ташувчилар иситувчи ва иситиладиган ташувчиларга бўлинади. Масалан, қозон ичида қизиган газ иситувчи иссиқлик ташувчи, қозондаги сув эса иситиладиган иссиқлик ташувчи ҳисобланади. Иситиш радиатори-даги сув иситувчи иссиқлик ташуви, хонага иссиқликни таркатадиган ҳаво эса, иситиладиган иссиқлик ташувчи ҳисобланади.

ИАА ларига буғ қозонлари, конденсаторлар, буғ қиздиргичлар, ҳаво иситкичлар, марказий иситиш асбоблари, радиаторлар ва шу кабилар мисол бўла олади.

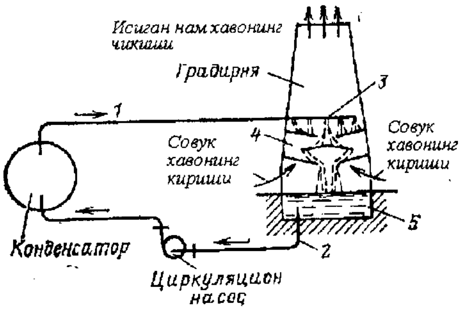
ИАА лари ўзининг шакли ва ўлчамлари билан ҳамда ишлатилаётган ишчи жисми билан бир - биридан катта фарқ қилади. ИАА лари хилма хил бўлсада, иссиқлик ҳисобининг асосий қоидалари улар учун умумий бўлиб қолади.

ИАА лари техникада нихоятда кенг тарқалган, ҳозирги вақтда уларнинг аниқ бир таснифи йўқ. Қуйида келтирилган тасниф энг кўп қўлланилаётган ИАА ларига тааллуқлидир. ИАА ларини қуйидаги белгиларига қараб таснифлаш мумкин.

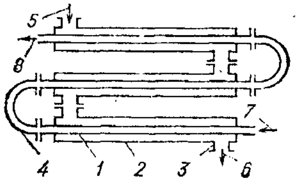
11.1.1. Иссиқлик алмашинув усулига қараб

Аралаштиргичли. Бундай ИАА ларида иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчи бир - бирига бевосита тегади ва кейин аралашиб кетадилар. Масалан, қозон агрегатидан чиқадиган юқори температурали буғ ё сув совуқ ёки илиқ сув билан аралаштирилади, сўнгра истеъмолчиларга узатилади. Бундай ИАА ларига градирнялар, деаэраторлар, скрубберлар ва бошқа қурилмалар киради.

Градирняда (11.1-расм) минорадан ёмғирдек тушаётган сув ҳаво билан аралашади ва натижада сув совийди, ҳаво эса исиб юқорига кўтарилади.



11.1- расм.
1- сувни келтирилиши; 2-сувни олиб кетилиши; 3- тақсимлаш тарнови; 4- суғориш қурилмаси; 5- бассейн.



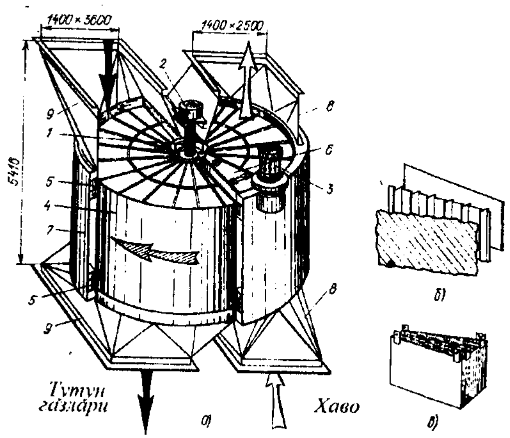
11.2- расм
1- ички қувур; 2- ташқи қувур; 3- улаш патрубкаси; 4- эгилган жой; 5-6 - биринчи иссиқлик ташувчининг кириши ва чиқиши; 7- 8 иккинчи иссиқлик ташувчини кириши ва чиқиши

Рекуперативли Бундай ИАА ларида иссиқлик ажратувчи девор (одатда металл) орқали узатилади. Бундай аппаратларга буғ генераторлари, буғ қиздиргичлари сув иситкичлари, ҳаво иситкичлари ва турли хил буғлатгич аппаратлари киради.

Ҳозирги пайтда рекуператив аппаратлар энг кўп тарқалган. Улар тузилиши жуда содда, ихчам ва иссиқлик ташувчиларнинг тем-пературасини ҳар доим ўзгармаслигини таъминлайди.

Рекуператив аппаратлар асосан металдан ишланган. Темпера-тураси 400-450°C бўладиган иссиқлик ташувчилар учун эса қувурлар углеродли пўлатдан, температураси 500-700°C бўладиган иссиқлик ташувчилар учун эса легирланган пўлатдан тайёрланади.

Регенеративли. Бундай ИАА ларида иситиш (ёки совутиш) сиртининг узи вақт - вақти билан гоҳ иссиқ, гоҳ совуқ иссиқлик ташувчи билан ювилиб турилади.



II.3 - расм

1- ротор вали; 2- пастки ва юкоридаги подшипниклар; 3- электродви-гатель; 4- тиқилган парса; 5- ташқи қўзғалмас ғилоф; 6-7- зичлагич-лар; 8- ҳавонинг чиқиб кетиши; 9 - газ патрубкалари.

Дастлаб регенератор панелларидан қизиган иссиқлик ташувчи - домна ва мартен печлари, вагранкалар ва бошқалардаги ёниш маҳсулотлари юборилади.

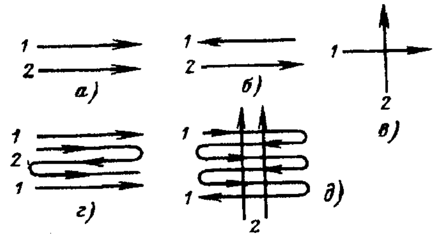
Регенераторнинг иситиш сирти қизиган газлардан иссиқлик олиб исийди, сўнгра бу иссиқликни совуқ иссиқлик ташувчига бера-ди. Бундай ИАА ларига замонавий қозон агрегатларининг ҳаво исит-гичлари мисол бўла олади(II.3-расм).

II.1.2. Технологик вазифасига қараб:

Ҳаво иситкичлар (II.3- расм); деаэраторлар; буғ қиздиргичлар; буғ генераторлари ва ш.к.

II.1.3. Иссиқлик ташувчилар ҳаракат йуналишига қараб.

тўғри оқимли (II.4-расм, а); қарши оқимли (II.4- расм , б); кўндаланг оқимли (II.4- расм, в); аралаш оқимли (II.4- расм, г) кўплаб кўндаланг оқимли (II.4-расм, д)



11.4-расм. ИАА ларида иссиқлик ташувчиларнинг ҳаракатланиш схемаси.

11.1.4 . Иссиқлик ташувчилар турига қараб:

Сув - сувли (11.2- расм); буғ - сувли; сув - ҳаволи (11.1- расм) газ - ҳаволи (11.3- расм); ёғ - ҳаволи.

11.1.5.Материалнинг турига қараб:

пўлатли ИАА лари; чўянли ИАА лари, булар коррозияга чидамли ва нисбатан арзон, лекин мустахкамлиги пўлатдан паст; графитли ИАА лари - булар кимёвий агрессив муҳитда ишлатилади;

шишали, сополли, қўрғошинли, пластмассали ИАА лари ҳам кимёвий муҳитларда қўлланилади.

11.1.6. Иссиқлик алмашинув сиртига қараб:

Силлиқ (текис) қувурли, бундай ИАА лари энг кўп тарқалган. Ўз навбатида текис қувурлар тўғри (11.2- расм), U - симон, спиралсимон, бурамасимон (11.4-расм) ва бошқа шаклларда бўлиши мумкин.

Қовурғали ИАА лари, пластинкасимон ИАА лари - булар иси-тиш юзасининг иккала томонида иссиқлик бериш коэффициенти бир хил бўлганда қўлланилади.

11.1.7. Иссиқлик ташувчиларнинг юриш сонига қараб:

бир йўлли ва кўп йўлли ИАА лари.

11.1.8. Иситиш сиртларини жойлашишига қараб:

Қувур ичида қувур (11.2-расм), ғилоф қувурли.

11.1.9. Ишлаш даврийлигига қараб:

Мунтазам ишлайдиган ва вақти вақти билан ишлайдиган ИАА лари. Асосий технологик жараёнларни амалга оширишни қулайлиги туфайли мунтазам ишлайдиган ИАА лари кенг қўлланилади.

11.2. Иссиқлик алмашинув аппаратларини ҳисоблаш

ИАА ларини ҳисоблашдан асосий мақсад иссиқлик алмашинув юзасини, иссиқлик ташувчиларнинг параметрларини, иссиқлик ташувчиларнинг энг мувофиқ сарфини ва уларнинг тезлигини, ҳамда аппаратнинг энг мувофиқ ўлчамларини аниқлашдан иборатдир. ИАА ларини ҳисоблашда иссиқлик баланси тенгламаси ва иссиқлик узатиш тенгламаси асосий ҳисобланади.

Иссиқлик узатиш тенгламаси:

$$Q = kF(t_1 - t_2) \qquad (11.1)$$

Бунда Q - иссиқлик оқими, Вт; к- иссиқлик узатиш коэффициенти, Вт/($м_2$·К); F - иссиқлик алмашинув юзаси $м^2$; t_1 ва t_2 - мос равишда иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчилар температураси

Иссиқлик баланси тенгламаси

$$Q = m_1 \Delta h_1 = m_2 \Delta h_2$$

ёки

$$Q = V_1 \rho_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = V_2 \rho_2 c_{p2} ((t_2' - t_2'), \qquad (11.2)$$

бу ерда $V_1 \rho_1$ва$V_2 \rho_2$ - иссиқлик ташувчиларнинг массавий сарфи кг /с; c_{p1} ва c_{p2} ва - суюқликнинг t' дан t'' гача температура оралиғидаги ўртача иссиқлик сиғими;t'_1 ва t'_2 суюқликнинг аппаратга киришдаги температураси: t''_1 ва t''_2 суюқликнинг аппаратдан чиқишдаги температураси.

$V\rho c_p$=W катталикни сув эквиваленти деб айтилади.

Охирги тенгламани эътиборга олиб (11.2) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин.

$$(t_1' - t_1'') / (t_2' - t_2') = W_2 / W_1 \qquad (11.3)$$

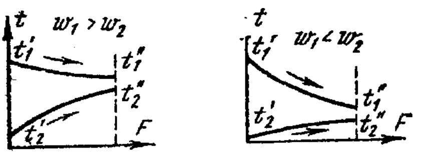
бунда W_1 ва W_2 иссиқ ва совуқ суюқликларнинг сув эквивалентлари.

Демак, ИААда иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчилар температураларининг ўзгариши сув эквивалентларига тескари пропорционал бўлар экан.

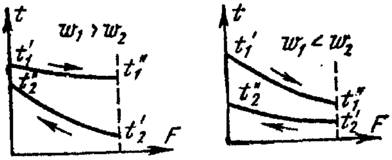
$$dt_1 / dt_2 = W_2 / W_1$$

Иссиқлик узатиш тенгламасини (11.1) келтириб чиқаришда иссиқлик ташувчиларнинг температураси аппаратда ўзгармайди деб ҳисобланган.

Ҳақиқатда эса иссиқлик ташувчиларнинг аппаратдан ўтиш вақтида температуралари ўзгаради, бундан ташқари температура ўзгаришига суюқликнинг ҳаракатланиш схемаси ва сув эквивалентлари катта таъсир қилади.



11.5-расм. Иссиқлик ташувчиларнинг тўғри оқимли ҳаракатда температураларининг ўзгариши.



11.6-расм. Иссиқлик ташувчиларнинг тескари оқимли ҳаракатда температураларининг ўзгариши.

11.5-расмдан кўриниб турибдики, тўғри оқимда совуқ иссиқлик ташувчининг охирги температураси хар доим қайноқ иссиқлик ташувчининг температурасидан паст бўлади. Қарши оқимда (11.6-расм) совуқ иссиқлик ташувчининг температураси қайноқ иссиқлик ташувчининг температурасидан анча катта бўлиши мумкин. Демак, қарши оқимли аппаратларда совуқ иссиқлик ташувчининг температурасини, тўғри оқимли аппаратдагига қараганда юқорироқ кўтариш мумкин экан.

Бундан ташқари, расмлардан кўриниб турибдики, температура ўзгаришлари билан бир қаторда суюқликлар температуралари фарқи Dt ҳам ўзгаради.

Δt ва к катталикларни фақат элементар юзи чегарасида ўзгармас деб ҳисоблаш мумкин. Шунинг учун элементар dF юза учун иссиқлик узатиш тенгламаси фақат дифференциал шаклда тўғри бўлади:

$$dQ = кdF \cdot \Delta t \qquad (11.4)$$

Бутун F юза бўйлаб узатилган иссиқлик оқими (11.4) тенгламани интеграллашдан аниқланади:

$$Q = \int_0^F kdF\Delta t = kF\Delta t_{ўрт} \qquad (11.5)$$

Бунда $\Delta t_{ўрт}$ - бутун иситиш юзаси буйлаб температуранинг ўртача логарифмик босими. Агар иссиқлик узатиш коэффициенти иссиқлик алмашинув юзаси буйлаб анча ўзгарса, у ҳолда унинг ўртача қиймати олинади:

$$k_{ўрт} = \frac{F_1k_1 + F_2k_2 + \ldots + F_nk_n}{F_1 + F_2 + \ldots F_n}$$

У ҳолда $k_{ўрт}$ = const бўлганда (11.5) тенглама қуйидаги кўринишга ке-лади:

$$Q = k_{ўрт}\int_0^F \Delta t dF \quad \text{ёки} \quad Q = k_{ўрт}\Delta t_{ўрт}F$$

11.3. Ўртача температура босимини ҳисоблаш

Агар иссиқлик ташувчилар температуралари тўғри чизиқ бўйича ўзгарса, у ҳолда ўртача температура босими температураларнинг ўрта арифметик қийматларининг айирмасига тенг бўлади:

$$\Delta t_{ўрт} = (t_1' + t_1'')/2 - (t_2' + t_2'')/2 \qquad (11.6)$$

Бироқ иши суюқликлар температураси ўзгариши тўғри чизиқли бўлмайди. Шунинг учун (11.6) тенгламани температуралар унча катта ўзгармаган ҳолларда қўллаш мумкин.

Катталикни тўғри оқим учун, чизиқли бўлмаган ўзгариши учун аниқлаймиз.

Ихтиёрий олинган А кесимда қайноқ иссиқлик ташувчининг температураси t', совуқ иссиқлик ташувчининг температураси t'' бўлсин. Уларнинг фарқи қуйидагича бўлади:

$$t' - t'' = t \qquad (11.7)$$

dF элементар юзадан узатилаётган иссиқлик миқдорини қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз:

$$dQ = kdF\tau \qquad (11.8)$$

dQ иссиқлик узатилганда қайноқ иссиқлик ташувчининг температураси dt' га пасаяди, совуқ иссиқлик ташувчининг температураси эса dt'' га кўпаяди, у ҳолда:

$$dQ = -m_1 c_{p1} dt' = m_2 c_{p2} dt''$$

ёки

$$dt' = -\frac{dQ}{m_1 c_{p1}} \quad \text{ва} \quad dt'' = \frac{dQ}{m_2 c_{p2}}$$

(11.7) тенгламани дифференциаллаб унга dt' ва dt'' ларни қийматини қўямиз ва қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$d\tau = -\frac{dQ}{m_1 c_{p1}} - \frac{dQ}{m_2 c_{p2}}$$

ёки

$$dQ = \frac{d\tau}{\dfrac{1}{m_1 c_{p1}} + \dfrac{1}{m_2 c_{p2}}}$$

$\left(\frac{1}{m_1 c_{p1}} + \frac{1}{m_2 c_{p2}}\right)$ =n деб белгилаймиз, у ҳолда

$$dQ = -d\tau/n \qquad (11.9)$$

dQ нинг ифодасини (11.8) тенгламага қўямиз:

$$-d\tau/n = kdF\tau$$

ёки

$$-d\tau/\tau = kdFn \qquad (11.10)$$

Агар n ва k катталиклар ўзгармас бўлса, у ҳолда (11.10) тенгламани $(t_1^1 - t_2^1) = \tau_1$ дан $(t_1^{II} - t_2^{II}) = \tau_2$ гача ва 0 дан F гача интеграллаб қуйидагини топамиз.

$$-\int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau/\tau = nk\int_0^F dF$$

ёки

$$\ln\tau_1/\tau_2 = nkF$$

бундан

$$n = (\ln\tau_1/\tau_2)/kF \qquad (11.11)$$

(11.9) тенгламани интеграллаймиз:

$$Q = (\tau_1 - \tau_2)/n \qquad (11.12)$$

ва унга (11.11) тенгламадан n нинг қийматини қўямиз.

$$Q = (\tau_1 - \tau_2)/(\ln\tau_1/\tau_2) \qquad (11.13)$$

(11.13) тенгламадаги $\Delta t_{урт}$ катталикни температуранинг ўртача логарифмик босими деб айтилади.

Тўғри оқимли ИАА лар учун

$$\Delta t_{урт} = (t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')/2{,}3\lg[(t_1' - t_2') - (t_1'' - t_2'')] \qquad (11.14)$$

Худди шундай йўл билан қарши оқимли ИАА лари учун $\Delta t_{урт}$ аниқланади.

$$\Delta t_{урт} = (t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2') / 2{,}3\lg[(t_1' - t_2'') - (t_1'' - t_2')] \quad (11.15)$$

Қарши оқимли ИАА ларининг $\Delta t_{урт}$ қиймати тўғри оқимли ИАА ларининг $\Delta t_{урт}$ қийматидан ҳар доим катта бўлади.

Шунинг учун қарши оқимли ИАА лари ўлчами кичик бўлади.

ИАА ларнинг тежамлилиги унинг фойдали иш коэффиценти (Ф.И.К.) орқали аниқланади.

Ф.И.К. совуқ иссиқлик ташувчини иситиш учун сарфланган қайноқ иссиқлик ташувчининг иссиқлик улушини кўрсатади.

ИАА ларининг иссиқлик баланси одатда қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$Q_1+Q_2+Q_3=Q_{хис} \text{ ёки } q_1+q_2+q_3=100\%$$

Бу ерда Qхис-қайноқ иссиқлик ташувчи атроф муҳит температурасигача совутилганда у бериши мумкин бўлган иссиқлик миқдори; Q_1 - совуқ суюқликни иситиш учун сарфланган иссиқлик миқдори; Q_2 -ИАА дан чиқаётган қайноқ суюқлик билан иссиқлик исрофи; Q_3 - атроф муҳитга иссиқликни исроф бўлиши. Қуйидаги

$$\frac{Q_1}{Q_{хис}} \cdot 100\% = q_1 = \eta,\%$$

нисбатни ИАА ни Ф.И.К. дейилади.

Назорат учун саволлар

1. ИАА га таъриф беринг.
2. ИАА лари қандай турларга бўлинади?
3. Рекуператив ИАА қандай ишлайди?
4. Регенератив ИАА қандай ишлайди?
5. ИАА ҳисоби қандай бажарилади?
6. Сув эквивалентлари қандай аниқланади?
7. Тўғри оқимли ҳаракатда температура қандай ўзгаради?
8. Тескари оқимли ҳаракатда температура қандай ўзгаради?
9. Ўртача логарифмик температура қандай аниқланади?
10. ИАА ларнинг иссиқлик баланси қандай тузилади?

УЧИНЧИ ҚИСМ
ИССИҚЛИК ТЕХНИКАСИНИНГ АМАЛИЙ МАСАЛАЛАРИ

ЎН ИККИНЧИ БОБ

ЁҚИЛҒИ

12.1. Ёқилғи ва унинг хоссалари

Ёнганда кўп миқдорда иссиқлик чиқадиган, теварак атрофдагиларга зарарли таъсир қилмайдиган, иссиқлик олиш учун ишлатилиши мақсадга мувофиқ ҳамда иқтисодий жихатдан фойдали бўлган барча моддалардан ёқилғи сифатида фойдаланиш мумкин. Электр, механик ва иссиқлик энергиясини олишни асосий манбаи органик ёқилғи ҳисобланади. Ҳозирги вақтда ер юзида ишлаб чиқарилаётган ва истеъмол қилинаётган энергиянинг 70% ни органик ёқилғининг кимёвий энергияси ҳисобидан ва фақат 30% гина сув, шамол, қуёш ва атом энергиясидан фойдаланиш ҳисобидан олинади. Мамлакатимиз ёқилғи саноати қарийб бир асрлик тарихга эга. Бу саноат ер қаърида топилган ва қазиб олинаётган кўмир, нефть, табиий газ конлари негизида шаклланди ва ривожланиб бормоқда. Республикамизда 159 (захираси саноат даражасида ҳисобланган) нефт-газ кони очилган, уларнинг 115 таси Бухоро - Хива геологик провинциясида, 27 таси Фарғона водийси, 10 таси Сурхондарё, 7 таси Устюртда жойлашган. Конларнинг газ, газконденсатли, газ-нефть, нефть, газ-нефть конденсатли турлари мавжуд.

Ёқилғи саноати республика ёқилғи-энергетика комплексининг асосий турларини ташкил этади ва барча турдаги ёқилғини қазиб олиш, табиий газни тозалаш ва етказиб бериш, нефть маҳсулотлари ишлаб чиқариш корхоналаридан иборат.

Мустақиллик йилларида кўрилган кескин тадбирлар натижа-сида нефть қазиб олиш ҳажми юқори суръатларда ўсди. Республиканинг нефть мустақиллиги таъминланди.

Агрегат ҳолига кўра ёқилғи қаттиқ, суюқ ва газ ёқилғисига, келиб чиқишига ёки олиниш усулига кўра табиий ва сунъий ёқилғига бўлинади. (12.1-жадвал).

Органик ёқилғиларнинг таснифи.

12.1-жадвал

Ёқилғи	Агрегат холати		
	Қаттиқ	Суюқ	Газ
Табиий	Ёғоч,торф, қўнғир ва тошкўмирлар, антрацит, сланецлар	Нефтъ	Табиий газ
Сунъий	Кокс, брикетлар, ёғоч кўмири,	Мазут, керосин, бензин, соляр мойи, газоил	Кокс гази, домна гази, генератор гази, нефть гази, пропан, ацетилен

Органик ёқилғи энергия манбаи бўлиши билан бир қаторда, у кимё саноати учун муҳим хом-ашё ҳисобланади. Органик ёқилғиларни қайта ишлаш натижасида кўплаб муҳим кимёвий махсулотлар олинади. Қазиб олинган жойи ва ишлатилишига кўра махаллий ёқилғи (торф ва сланец) ва ташиб келтириладиган ёқилғилар бўлади.

Ёқилғи таркиби органик ва минерал моддалардан иборат бўлади. Органик моддаларга углерод (С), водород (H_2),

кислород (O_2), азот (N_2) ва олтингугурт (S) киради. Бу кимёвий эле-ментлар ва улар бирикмаларининг миқдори турли хил

ёқилғида турлича бўлади. Масалан, нефть ва унинг махсулотлари таркиби асосан углерод ва водороддан ташкил топган.

Ёқилғи таркибига ёнувчан элементлар, намлик ва ёқилганда кулга ўтадиган минераллар киради. Ёқилғининг таркиби кимёвий элементларнинг массавий фоиз миқдори, намлиги ва кул миқдори билан тавсифланади.

Қаттиқ ва суюқ ёқилғининг элементар таркибини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$C+H+S+O+N+A+W=100\% \qquad (12.1)$$

Ёқилғининг ёнувчан қисмига углерод, водород ва олтингугурт киради. Ёқилғининг ёнмайдиган қисмига эса, азот,

кислород, намлик W ва ёқилғи ёнганда кулга айланадиган минерал моддалар А киради. Ёқилғининг таркиби ишчи, қуруқ, ёнувчан ва органик массаларга ажратилади. Ҳар бир масса таркибига мос равишда қуйидагидек индекслар берилади: ишчи - и; қуруқ - қ; ёнувчан - ё; ва органик - о;

Ёқилғи истеъмолчига қайси ҳолда берилса ва ёндирилса, шу ҳолдаги ёқилғига ишчи ёқилғи, массаси ва элементар таркиби эса, мос равишда ишчи масса ва иш таркиби дейилади. Ишчи массанинг эле-ментар таркибини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$C^и + H^и + S^и + O^и + N^и + A^и + W^и = 100\% \qquad (12.2)$$

Ёқилғини ёнмайдиган элементлари унинг балластини ташкил этади. Кислород ва азот ёқилғининг ички балласти, кул ва намлик эса ташқи балласти ҳисобланади. Ёқилғининг қуруқ массаси таркибида намлик бўлмайди:

$$C^қ + H^қ + S^қ + O^қ + N^қ + A^қ = 100\% \qquad (12.3)$$

Ишчи массадан қуруқ массани қайта ҳисоблаш формуласи қуйидаги кўринишга эга:

$$C^{г} = C^{и}\frac{100}{100-W^{и}};\quad H^{г} = H^{и}\frac{100}{100-W^{и}};\ \text{ва ш.к.} \qquad (12.4)$$

Ёқилғининг ёнувчан массаси таркибида ташқи балласт, яъни намлик ва кул бўлмайди:

$$C^{г} + H^{г} + S^{г} + O^{г} + N^{г} + A^{г} = 100\% \qquad (12.5)$$

Бундай таркибни "ёнувчан масса" деб айтишимиз шартли ал-батта, чунки унинг таркибидаги фақат C, H ва S ларгина ёнувчан элементлар ҳисобланади.

Ёқилғининг ёнувчан массасининг таркиби унинг ўзгармас тавсифи бўлиб, хажми ва кул миқдори ўзгарганда ҳам бу тавсифи ўзгармайди.Қаттиқ ёқилғидаги углерод миқдори унинг геологик ёши ортиши билан кўпаяди. Масалан, торфдаги углерод миқдори $C^{г}$=50÷60%, қўнғир кўмирда $C^{г}$=60÷75%, тошкўмирда $C^{г}$=75÷90% ни ташкил этади.

Қуруқ ва ишчи массадан ёнувчан массани қайта ҳисоблаш қуйидаги формула бўйича амалга оширилади.

$$C^{г} = C^{к}\frac{100}{100-A^{к}} = C^{и}\frac{100}{100-A^{и}W^{и}};\ \text{ва ш.к.} \qquad (12.6)$$

Ёқилғининг органик массаси таркибини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$C^{о}+H^{о}+P^{о}+N^{о}=100\% \qquad (12.7)$$

Барча иссиқлик техникаси ҳисобларида ёқилғининг таркиби унинг ишчи массаси бўйича олинади.

Газ ёқилғиси таркибини қуйидаги формула орқали ифодалаш мумкин:

$$CH_4+CmHn+CO+H_2+H_2S+CO_2+O_2+N_2=100\% \qquad (12.8)$$

Қаттиқ ва суюқ ёқилғининг ва ёнувчан газнинг асосий тавсифлари 12.2 ва 12.3-жадвалда келтирилган.

Қаттиқ ва суюқ ёқилғининг асосий хоссалари

12.2-жадвал

Ёқилғи тури	Ёқилғининг ёнувчан массаси			%	
	$C^ё$	$H^ё$	$O^ё$	$S^ё$	$Q^и_к \cdot 10^{-4}$, кЖ/кг
Ёғоч	50	6	43	0	1,05-1,47
Торф	53-62	52,62	32,37	0,1-03	0,84-1,05
Қўнғир кўмир	62-72	4,4-6,2	18-27	0,5-6,0	0,62-1,09
Тошкўмир	75-90	4,5-5,5	4-15	0,6,-6,0	2,10—3,00
Антрацит	90,96	1,02,0	1-2	0,5-7,0	2,70-3,10
Нефть	83-86	11-13	1-3	0,2-4,0	4,30-4,60
Сланец	72-76	8-10	10-12	-	0,73-1,50
Мазут	84-87	9-11	1	3-3,5	4,00-4,55

Табиий газларнинг хоссалари

12.3-жадвал

Газ магистр али	Газнинг таркиби, хажмга нисбатан, %							$Q^k_к \cdot 10^{-4}$ кЖ/кг
	CH_4	C_2H_2	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	
Газли – Когон	95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	3,66
Жарках - Тошкент	95,5	2,7	0,4	0,2	0,1	1,0	1,0	3,67
Бухоро-Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	3,67
Саратов -Москва	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3,0	1,2	3,61

Углерод ёқилғининг асосий таркибий қисмидир. 1 кг соф угле-род тўла ёнганда 33900 кЖ иссиқлик чиқади. 1 кг водород ёнганда 125600 кЖ иссиқлик чиқади. Ёқилғи таркибига кирувчи водороднинг бир қисми ёқилғидаги кислород билан бириккан бўлади ва ёнишда иштирок этмайди. Ёқилғи ёнганда олтингугурт сульфид ангидрид SO_2 га айланади ва сув буғлари билан бирикиб сульфид кислота H_2SO_3 ҳосил қилади. Олтингугуртнинг ёнишидан ҳосил бўлган суюқ ва газ махсулотлар ички ёнув двигателлари ҳамда қозон агрегатлари металл қисмларининг занглашига сабаб бўлади, ҳавони ва ўсимликларни заҳарлайди ва уларни нобуд қилади, қурилиш иншоотларини емирилишини тезлаштиради. Олтингугуртнинг зарарли хоссаларини эътиборга олиб, уни балласт қаторига киритиш мумкин.

Кислород ва азот шартли равишда ёнувчан масса таркибига кири-

тилган. Улар ички балласт ҳисобланади, чунки ёнувчан массанинг фоиз миқдорини камайтиради ва ёниш соҳасини совитади. Бундан ташқари ёқилғида кислород миқдори кўп бўлса, у ёниш соҳасида водород билан бирикиб, сув ҳосил қилади.

Ёқилғи намлиги. Ёқилғини қазиб олиш, ташиш, сақлаш ва шу кабиларга боғлиқ равишда ёқилғи намлиги ўзгариб туради. Масалан, торф учун 50%, сланецлар учун 13-17%, тош-кўмир учун 5-14%, ва антрацит учун 5-8%. Ёқилғидаги намлик ёқилғи фойдали қисмини хажмини камайтириши жиҳатидангина эмас, балки ёниш соҳасида буғга айланиши жиҳатидан ҳам зарарлидир. Иссиқликнинг анчагина миқдори буғ ҳосил бўлишига сарфланмагани ҳолда, чиқиб кетаётган газлар билан бирга чиқади. Намлик қаттиқ ёқилғи сақланганда унинг ўз-ўзидан ёниб ва уваланиб кетишига сабаб бўлади.

Ёқилғи кули. Ёқилғи таркибида кулнинг бўлиши ёниш вақтида ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдорини камайтиради, ускуналарнинг металл қисмларини емиради, ўтхоналарнинг ишлашини қийинлашти-ради. Кул таркибига асосан ишқорий металлар тузлари, темир ва алюминий оксидлари ҳамда олтингугурт сульфати киради. Бундан ташқари кулда CaCO3, MgCO3 бўлиши мумкин. Ёқилғилар таркибида кулнинг миқдори хар-хил бўлади. Масалан қуруқ ёқилғилар учун Ақ нинг қиймати қуйидагича бўлади, %: ёғоч учун "1, торф учун " 10, тошкўмир учун 10-20, қўнғир кўмир учун 30, сланецлар учун 60.

Суюқ ёқилғи (мазут) таркибида ҳам оз миқдорда (0,2-1%) минерал аралашма бўлди.

Учувчан моддалар ва кокс. Қаттиқ ёқилғи ҳавосиз фазода 870-1070 К температурагача қиздирилганда ундан учувчан моддалар ажралиб чиқади. Учувчан моддалар таркибига азот N_2, водород H_2, кислород O_2, углерод оксиди CO, углеводород газлари CH_4, C_2H_4 ва шу кабилар ҳамда намликдан ҳосил бўлган сув буғлари киради. Учувчан моддалар таркиби ёқилғини қиздириш жараёнига боғлиқ бўлади. Учувчан моддалар йиғиндиси VУ ---------харфи билан белгиланади ва фақат ёнувчан массага таалуқли бўлади. Учувчан моддалар сланецда (VУ=90%) ва торфда (VУ=75%) энг кўп бўлади. Қўнғир кўмирда 40-50%, антрацитда эса 4-6% бўлади.

Чала кокслаш жараёни махсус печларда (ҳавосиз муҳитда) амалга оширилади, бунда қайта ишланадиган ёқилғи 770-830 К температурагача қодир бир меъёрда қиздирилади. Юқори температура таъсирида ёқилғининг органик қисми парчаланади, парчаланиш маҳсулотлари эса, ўзаро яна кимёвий реакцияга киришади. 770-830 К температурада ёқилғининг парчаланиши тўхтайди ва нечда углеродга айланган қаттиқ қолдиқ - чала кокс- ланишининг асосий маҳсулоти бўлган чала кокс қолади. Чала коксда кўпгина учувчан моддалар қолади. Ундан турмушда ва энергетика мақсадларида ишлатиладиган ёқилғи сифатида фойдаланилади. Чала кокса-

нинда ҳосил бўладиган газлар - қимматли ёқилғи ва кейинги кимёвий қайта ишлаш учун хом-ашёдир. Масалан, ёғоч ва торфни қуруқ ҳайдашда олинган сув яна кимёвий қайта ишланса, ацетон, сирка кислота, метил спирти, форма-лин ва бошқа қимматли маҳсулотлар ҳосил бўлади.

Ёқилғини ҳавосиз муҳитда 1275-1375 К температурада қиздириб, қайта ишлаш жараёни кокслаш дейилади. Кокслаш натижасида 70-80% металлургия кокси олинади, қолгани эса кокс гази, смола ва сув бўлади. Кокс гази қайта ишланиб, ундан аммиак ва бошқа кимёвий маҳсулотлар олинади. Кокслашда ҳосил бўлган смола ва сув яна қайта кимёвий ишланади.

Ёқилғининг ёниш иссиқлиги

1 кг ёки 1 $м^3$ ёқилғи тўлиқ ёнганда чиқадиган иссиқлик миқдори ёқилғининг иссиқлик ажратиши (ёниш иссиқлиги) дейилади. ($Qи$, кЖ/кг ёки $Qи$ кЖ/$м^3$).

Ёқилғининг иссиқлик ажратиши икки хил: юқори ёниш иссиқлиги $Qию$ ва қуйи ёниш иссиқлиги $Qик$ бўлади.

Ёқилғининг масса бирлиги тўлиқ ёнганда чиққан иссиқлик миқдори ёқилғининг юқори ёниш иссиқлиги дейилади, бунда намликнинг буғланишига сарфланган иссиқлик ҳисобга олинмайди.

Ёқилғининг бирлик массаси ёнганда унинг таркибидаги намлик ҳамда водороднинг кислород билан реакцияга киришиш жараёнида ҳосил бўлган намлик ҳисобга олинган холатда ажралган иссиқлик миқдори қуйи ёниш иссиқлиги дейилади.

1 кг сув буғининг атмосфера босимида конденсацияланиш иссиқлиги тахминан 2500 кЖ/кг га тенг. Ишчи ёқилғи таркибидаги сув буғлари миқдори Wи/100 га тенг. 1 кг водород ёнганда 9 кг сув буғи ҳосил бўлади ($H_2+0,5O_2=H_2O$).

Демак, сув буғининг конденсацияланиш иссиқлигини қуйида-ги формуладан аниқланади:

$$2500\left(\frac{W^{и}}{100}+9\frac{H^{и}}{100}\right)=25W^{и}+225H^{и} \qquad (12.9)$$

у холда

$$Q^{и}_{х}=Q^{и}_{ю}-225H^{и}-25W^{и}=Q^{и}_{ю}-25(9H^{и}+W^{и}) \qquad (12.10)$$

яъни ёқилғининг қуйи ёниш иссиқлиги унинг юқори ёниш иссиқлигидан буғ ҳосил бўлиш иссиқлигини айириб ташланганига тенг.

Ёқилғининг ёниш иссиқлиги лаборатория шароитида калориметрик бомба ёрдамида аниқланади (12.1-расм). Калориметрли бомба, босими 3 МПа бўлган кислород билан тўлдирилган герметик идиш 1 дан иборат-

дир. Идишда массаси 1 г бўлган ёқилғи ёндирилади. Бомбани сувли идиш 2 га жойлаштирилади ва сув температурасини ортиши орқали ёқилғининг ёниш иссиқлиги аниқланади.

Қаттиқ ва суюқ ёқилғининг ёниш иссиқлигини Д.И.Менделеев эмперик формуласидан етарли аниқлик билан топилади:

$$Q_{ю}^{и} = 340C^{и} + 1260H^{и} - 109(O^{и} - S^{и}) \text{ кЖ/кг} \quad (12.11)$$

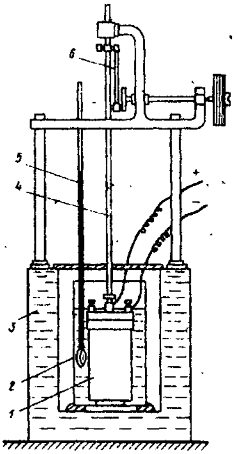
$$Q_{к}^{и} = 340C^{и} + 1035H^{и} - 109(O^{и} - S^{и}) - 25W^{и} \text{ кЖ/кг} \quad (12.12)$$

Қуруқ газнинг қуйи ёниш иссиқлиги қуйидагига тенг:

$$Q_{к}^{и} = 358CH_4 + 640C_2H_6 + 915C_3H_8 + 1190C_4H_{10} + 1465C_5H_{12} + 126{,}5\,CO + 107{,}5H_2 + 234H_2S \text{ кЖ/м}^3 \quad (12.13)$$

Юқори ёниш иссиқлиги:

$$Q_{ю}^{и} = 398CH_4 + 700C_2H_6 + 995C_3H_8 + 1285C_4H_{10} + 1575C_5H_{12} + 126{,}5\,CO + 127{,}5H_2 + 257H_2S \text{ кЖ/м}^3 \quad (12.14)$$



12.1-расм. Калориметрик қурилма.
1-калориметрик бомба; 2- сувли идиш; 3-термостат; 4-аралаштиргич; 5-термометр; 6-аралаштиргичнинг узатма механизми.

Шартли ёқилғи. Иссиқлик ажратиш хусусияти турлича бўлган ёқилғиларни таққослаш учун "шартли ёқилғи" тушунчасидан фойдаланилади. Ёниш иссиқлиги 29300 кЖ/кг ёки ~30000 кЖ/кг бўлган ёқилғи шартли ёқилғи дейилади. Берилган ёқилғини шартли ёқилғига айлантириб хисобланда ва аксинча шартли ёқилғини берилган ёқилғига айлантириб хисобланда ёқилғи эквиваленти дейиладиган катталикдан фойдаланилади.

$$Э = \frac{Q_к^и}{29300} \qquad (12.15)$$

Қаттиқ ёқилғи. Қаттиқ ёқилғилар жумласига ёғоч, торф, ёнувчан сланецлар ва қазиб олинадиган кўмирлар киради. Ҳар қандай қаттиқ ёқилғининг бошланғич материали ёғочдир.

Қазиб олинадиган қаттиқ ёқилғи ёнувчан массасининг таркиби унинг пайдо бўлиш шароитларига ва геологик ёшига боғлиқ. Геологик ёшининг ортиб бориши тартибида қаттиқ ёқилғини шундай жойлаштириш мумкин: ёғоч, торф, ёнувчан сланецлар, қўнғир кўмир, тошкўмир, антрацит.

Торф сув остида ҳавосиз шароитда ботқоқлик ўсимликларидан ҳосил бўлади. У ер сиртидан унчалик чуқур бўлмаган жойда қалинлиги 10 м гача қатламлар ҳосил қилади.

Ёнувчан сланецлар осон ўт олади ва узун тутайдиган аланга ҳосил қилиб ёнади. Улар қуруқ ҳайдалганда кокс, смола ва қўшимча маҳсулотларга парчаланади. Ёнувчан сланецлар қимматли маҳаллий ёқилғи ва кимёвий хом ашё ҳисобланади.

Табиий қаттиқ ёқилғининг асосий тури қазиб олинадиган кўмирлардир. Улар узоқ тошкўмир даврида дарахт ва ўсимликлардан ҳосил бўлади. Қазиб олинадиган кўмирлар геологик ёшига кўра қўнғир кўмир, тошкўмир ва антрацементга бўлинади. Ўзбекистонда кўмирни саноат усулида қазиб олиш 1930 йиллар охиридан бошланган. Тошкент вилоятида (Ангрен) қўнғир кўмир, Сурхондарё вилоятида Шарғун, Бойсунтоғ тошкўмир конлари бор. Мамлакатимиз халқ хўжалигида ҳар йили 8 - 9 млн т кўмир истеъмол қилинади.

Суюқ ёқилғи. Табиий суюқ ёқилғи нефтдир. Лекин, у одатда табиий ҳолда ёқилғи сифатида ишлатилмайди. Суюқ ёқилғи асосан нефтни 300 - 370 ОС температурага қиздиришидан ҳосил бўлган бугни ҳар хил фракцияларга ажратиш ва уларни конденсациялаш йўли билан олинади. Карбюраторли двигателлар учун бензин, лигроин, керосин; дизель двигателлари учун газойль ва соляр мойи; реактив двигателлар учун керосин - газоилли фракциялар олинади.

Қозон агрегати ва саноат печлари ўтхоналарида асосан мазут ишлатилади. Мазутнинг асосий тавсифларидан бири унинг қовушоқлигидир. Ўтхоналарда асосан М40, М100 ва М200 маркали мазут ишлатилади. Мазут маркаси унинг 353 К температурадаги қовушоқлиги орқали аниқланади. Мазут таркибидаги олтингугурт миқдорига қараб: кам олтингугуртли (0,5 % гача), олтингугуртли (2 % гача) ва кўп олтингугуртли (3,5 - 4,3 %) мазутларга ажратилади.

Ўзбекистонда дастлабки нефть кони 1904 йилда очилган (Фарғона водийсидаги Чимён нефть конида 278 м чуқурликдан кунига 130 т нефть олинган). Ўша йили Ванновскда (ҳозирги Олтиариқ) нефтни қайта ишлаш заводи ишга туширилди.

Ўзбекистон нефть саноатининг пайдо бўлиши шу санадан бошланади. Бугунги кунда Республика нефть саноати халқ хўжалигининг нефтга бўлган талабини тўлиқ қондириш имкониятларига эга.

Газ ёқилғиси. Табиий газ ер куррасининг жуда кўп жойларида учрайди. У фақат махсус газ қудуқларидангина эмас, балки нефть қазиб чиқаришда қўшимча маҳсулот сифатида ҳам олинади. Нефть билан бирга чиқадиган табиий газ йўлакай газ дейилади. Табиий газнинг асосий таркибий қисмини метан CH_4 (98% гача) ташкил этади.

Бундан ташқари унинг таркибида этан C_2H_6, пропан C3H8, бутан C_4H_{10}, этилен C_2H_4 ва пропилен C_3H_8 бўлади. O_2 ва N2 лар одатда оз миқдорни ташкил этади. Газ саноати - ёқилғи - энергетика мажмуасининг энг ривожланган тармоғи. Унинг Республикада қазиб олинаёт-ган ёқилғи балансидаги ҳиссаси 87,2 % ни ташкил этади. 1955 йилда Жарқоқ, 1956 йилда Газли нефть конларининг очилиши натижасида газ саноатининг моддий базаси яратилди. 1995 йили Республика газ саноатида 48,6 млрд $м^3$ табиий газ, 7600,6 минг тонна нефть ва газ конденсати олишга эришилди, 3053, 7 минг тонна кўмир қазиб олинди.

12.2. Ёқилғининг ёниш жараёнлари

Қаттиқ ёқилғининг ёниши. Қаттиқ ёқилғини ёниш жараёни кетма - кет келадиган қуйидаги босқичлардан ташкил топган:қиздириш, намликни буғланиши, учувчан моддаларни ажралиши ва коксининг ҳосил бўлиши, учувчан моддалар ва коксни ёниши.

Бу босқичлардан асосийси, коксни, яъни углеродни ёниши ҳисобланади. Бундан ташқари коксни ёниши қолган босқичларга қараганда кўпроқ давом этади (ёниш вақтининг 90% гача) ва худди шу босқич қолганлари учун иссиқлик шароитини яратади. Ёниш босқичигача бўлган босқичлар учун иссиқлик сарфланади. Бу сарфлар ёниш иссиқлигининг 20 - 25 % гача бўлиши мумкин. Ёниш тўлиқ ва тўлиқмас (чала) бўлади. Ёқилғининг ёнувчан элементлари кислород билан қуйидагича реакцияга кириши ёнса, бундай ёниш тўлиқ ёниш дейилади:

$$C + O_2 = CO_2 + Q \qquad (12.16)$$

бунда Q - ёниш вақтида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори.

Бу реакция киломолларда қуйидагича ёзилади.

$$12C + 32O_2 = 44CO_2 + 409 \text{ МЖ/кмоль} \qquad (12.17)$$

ёки

$$C + \frac{8}{3}O_2 = \frac{11}{3}CO_2 + 34{,}1 \text{ МЖ/кг}.$$

(12.17) тенгламадан кўриниб турибдики, 1 кг углеродни тўлиқ ёниши учун $\frac{8}{3}$ кг кислород зарур бўлади. Реакция натижасида $\frac{11}{3}$ кг CO_2 хосил бўлади ва 34,1 МЖ иссиқлик ажралиб чиқади.

Водороднинг ёниши:

$$2H_2+O_2=2H_2O+242 \text{ МЖ/кмоль} \qquad (12.18)$$

ёки

$$H_2+8O_2=9H_2O+121 \text{ МЖ/кг}$$

Бу реакцияда 1 кг H_2 ёниши учун 8 кг кислород зарур бўлади, реакция натижасида 9 кг сув буғи хосил бўлади ва 121 МЖ/кг иссиқлик ажралиб чиқади.

Олтингугуртнинг ёниши:

$$S+O_2=SO_2+289 \text{ МЖ/кмоль} \qquad (12.19)$$

ёки

$$S+O_2=2SO_2+9{,}04 \text{ МЖ/кг}$$

1 кг олтингугурт ёнганда 1 кг кислород сарфланади. Реакция натижасида эса 2 кг SO_2 хосил бўлади ва 9,04 МЖ иссиқлик ажралади.

Ёниш махсулотлари ичида ёнувчан элементлар ва ёнмаган ёқилғи зарралари қолган бўлса, бундай ёниш тўлиқмас (чала) ёниш дейилади.

Углероднинг чала ёниши:

$$2C+O_2=2CO+246 \text{ МЖ/кмоль} \qquad (12.20)$$

ёки

$$C+\frac{4}{3}O_2=\frac{7}{3}CO+10{,}3 \text{ МЖ/кг}$$

яъни 1кг углерод чала ёнганда $^4/_3$кг кислород сарфланади, реакция натижасида эса $^7/_3$ кг CO хосил бўлади ва 10,3 МЖ иссиқлик ажралиб чиқади.

Хосил бўлган углерод оксиди ёнади:

$$2CO+O_2=2CO_2+286 \text{ МЖ/кмоль} \qquad (12.21)$$

ёки

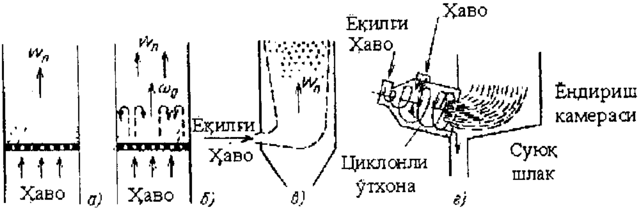
$$CO+\frac{4}{7}O_2=\frac{11}{7}CO_2+5{,}1 \text{ МЖ/кг}$$

яъни 1 кг СО ёниши учун 4/7 кг кислород сарфланади, реак-ция натижасида эса 11/7 кг CO_2 ҳосил бўлади ва 5,1 МЖ иссиқлик ажралади.

Ёқилғи тўлиқ ёнганда углерод, водород ва олтингугуртнинг ёнишида олиниши мумкин бўлган барча иссиқлик чиқади. Ёниш маҳсулотларида ёна олмайдиган моддаларгина: карбонат ангидрид CO_2, сув буғлари H_2O ва олтингугурт ангидрид SO_2 қолади.

Ёнувчи элементлар чала оксидланганда ёниш маҳсулотлари билан бирга кўп миқдорда углерод (II)-оксид СО, водород H_2, метан CH_4 ва ёна оладиган бошқа углеводородли бирикмалар ҳам чиқиб кетади.

Ҳозирги замон ўтхона техникасида қаттиқ ёқилғини ёқишнинг асосан тўрт хил усули - қатламли, қайнаётган қатламли, машъалали ва уюрмали ёниш усулларидан фойдаланилади (12.2 - расм).

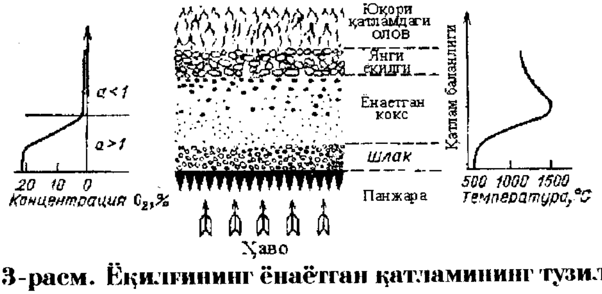


12.2 - расм. Қаттиқ ёқилғи ўтхоналари таснифи а) қатламли усул; б) қайнаётган қатламли усул; в) машъалали усул; г) уюрмали усул.

Ёнаётган қатлам тузилишини кўриб чиқиш ёниш жараёнини чуқурроқ ўрганиш имконини беради (12.2 - расм)

Қатламли ёқиш - бу ёқилғини панжарали чўғдонда қатламлаб ёқиш усулидир.

Ёқилғи ёниш натижасида бевосита чўғдонда кул ва шлакдан иборат ғовак ёстиқ ҳосил бўлади. Унинг устида ёнаётган кокс қатлами бўлади. Кокс устига янги ёқилғи қатлами берилади. Бу ерда Q иссиқлик ҳисобига исийди. Сўнгра ёқилғи қурийди, яъни ундаги намлик буғланиб кетади, шундан кейин учувчан моддаларнинг чиқиши ва кокс ҳосил бўлиши бошланади.



12.3-расм. Ёқилғининг ёнаётган қатламининг тузилиши.

Учувчан моддалар ва кокснинг ёниши натижасида иссиқлик чиқади ва ўтхона ичининг температураси кўтарилади. Ёниш учун зарурий ҳаво колосник чўғдон тагидан киради. Ҳаво чўғдон тешиги ва ғовак шлакли ёстиқ орқали ўтиб исийди. Ҳаво кейинги ҳаракати давомида ўз йўлида кокс ва ёқилғи қатламига дуч келади. Улар билан ўзаро таъсир этишиб, ёқилғи қатлами ёнадиган ўтхона газлари оқимига айланади ва қатлам устки алангасини ҳосил қилади.

Қаттиқ ёқилғини қатламли ёқиш қуввати паст бўлган (буғ унумдорлиги 35 m/соат гача) қозонларда кенг тарқалган.

Бироқ бу усулни қуввати юқори бўлган қозонларда қўллаб бўлмайди, чунки бунда ёниш юзаси етарли бўлмайди.

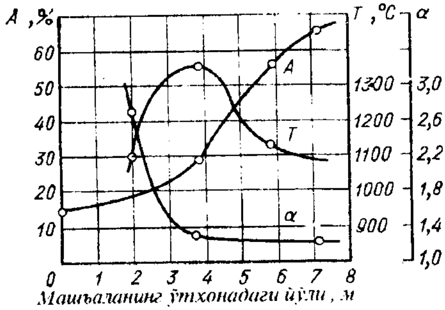
Шунинг учун қуввати катта бўлган қозонларда қаттиқ ёқилғи чанг ҳолатига келтирилиб ёқилади.

Бунинг учун ёқилғи, аввало махсус тегирмонларда чанг ҳолига келтирилади ва камерали ўтхонага горелка орқали узатилади.

Камерали ўтхоналарда ёқилғи машъала ва уюрмали усулларда ёндирилади (12.2 - расм,в ва г).

Машъала қилиб ёқиш усулида ёқилғи ва ёниш учун зарурий ҳаво ўтхонага махсус мосламалар ёрдамида берилади. Ёнишнинг машъала усули ёқилғи зарраларининг ҳаво оқими ва ёниш маҳсулотлари билан биргаликда тўхтовсиз ҳаракатланиб туриши билан қатламли ёқиш усулидан фарқ қилади. Шунинг учун қаттиқ ёқилғи чанг (кукун) ҳолатга келтирилиши лозим. Кукун зарраларининг ўлчами микронлар билан ўлчанади. Бунинг натижасида ёқилғининг ҳаво кислородлари-га тегиши ва реакцияга кириши сирти катталашади. Кўмир чанги камерали ўтхонага ҳаво билан (бирламчи ҳаво) биргаликда горелка орқали узатилади. Ҳавонинг қолган қисми (иккиламчи ҳаво) ёқилғисиз ўтхона узатилади.

Машъала узунлиги бўйлаб ёқилғи ёнишини уч босқичга ажратиш мумкин: тайёргарлик босқичи, ёқилғини жадал ёниш босқичи ва қолдиқ коксни ёниб тугаш босқичи (12.4 - расм).



12.4 - расм. Машъала узунлиги бўйлаб температураси, ортиқча ҳавони ва кул миқдорини ўзгариши

Биринчи босқичда температура Т юқори бўлмайди, ортиқча ҳаво коэффициенти а катта, кул миқдори Аҡ эса оз бўлади. Иккинчи босқичда температура кескин кўтарилади, ортиқча ҳаво коэффициенти жадал камаяди ва кул миқдори тез ортади. Демак бу босқичда ёқилғи жадал ёнади. Учинчи босқич энг кўп давом этади. Бунда а деярли ўзгармайди, Аҡ тез ортиб боради ва кейин маълум бир чегара қийматига яқинлашади. Демак, бу босқичда қолдиқ кокс ёниб бўлади. Экран қувурларига иссиқлик бериш жадаллиги, ёниш туфайли ажралиб чиқаётган иссиқлиқ жадаллигидан катта бўлиши натижасида температура анча пасаяди. Кейинчалик нурий иссиқлиқ бериш, температура пасайиши билан кескин камайиши натижасида (Стефан-Больцман қонуни), температуранинг пасайиши секинлашади.

Ўтхона бўшлиғида кучли, уюрмали оқим ҳосил қилиш усули билан ёқилганда ёқилғи зарралари узоқ вақт ўтхонада бўлади ва тўлиқ ёнади. Ҳаво оқими ёқилғи зарраларини уюрма траекторияси бўйлаб олиб юради ва яхши ёнишини таъминлайди. Уюрмавий усулда қаттиқ ёқилғини чанг ҳолида эмас, балки яхши майдаланган бўлаклар ҳолида ёқиш мумкин.

Чангсимон ҳолатга келтирилган қаттиқ ёқилғиларни ёқишнинг ўзига хос афзалликлари бор:

а) паст навли кўмирни, кўмир қизиб олишда ва уни бойитишдаги қолдиқ чиқиндиларни катта қувватли қозон қурилмалари ўтхоналарида ёқиш мумкин;

б) ортиқча ҳаво коэффициенти α=1,2-1,25 бўлганда чала ёниш ҳисобига бўладиган исрофлар жуда кам ва ўтхона самарадорлиги иқтисодий жиҳатдан юқори бўлади;

в) ёниш жараёнини тўла механизациялаштириш ва автоматлаштириш мумкин;

г) катта қувватли ўтхоналар қуриш мумкин.

Бундай афзалликлари билан бирга қурилмаларнинг нархи қиммат, ёқилғини майдалашга қўшимча электр энергияси сарф бўлади, тутун газлар билан биргаликда кўп миқдорда кул ҳам (ёқилғидаги умумий кул миқдорининг 80% га яқини) атмосферага учиб чиқади ва атроф муҳитни ифлослантиради.

Юқорида кўрсатилган камчиликларга қарамай, йирик электр станцияларнинг асосий қисми чангсимон ёқилғида ишлайди.

Ҳавонинг назарий жиҳатдан зарурий миқдорини ҳисоблашда ҳаво ёқилғи билан идеал аралаштирилади ва кислороднинг ҳар қайси зарраси ёнувчан элемент билан бирикишига улгуради, деб фараз қилинади. Лекин, амалда ҳавонинг ҳисобланган миқдори ёқилғининг тўлиқ ёниши учун етарли бўлмайди. Ёниш жараёнини кислороднинг ҳаммаси ёнувчан элементлар билан киришадиган қилиб етказиб бўлмайди. Унинг бир қисми ёниш реакциясига киришмайди ва тутун газлар билан бирга эркин ҳолда чиқиб кетади. Ёқилғининг тўлиқ ёни-ши учун ҳавони ҳисоблаб топилга-

нидан кўпроқ миқдорда бериш зарур. Ҳақиқий бериладиган ҳаво миқдори назарий ҳисоблаб топилганидан неча марта кўплигини кўрсатувчи сон ортиқча ҳаво коэффициенти дейилади ва а билан белгиланади:

$$\alpha=V/V_0,$$

α нинг катталиги ёқилғининг турига, жараён содир бўладиган шароитларга, ёқиш усулига, ўтхонанинг тузилишига боғлиқ. Ҳисоблашларда а нинг қиймати тегишли тажриба маълумотлари асосида танланади. а қанчалик кичик бўлса, ёниш жараёни шунчалик тежамли бўлади. Лекин а жуда ҳам кичик бўлса, ёқилғи чала ёнади ва қозон агрегати-нинг Ф.И.К. пасаяди.

Қаттиқ ёқилғи қатламли усулда ёқилса, одатда α=1,3 -1,5 га тенг бўлади, газ ва суюқ ёқилғи камерали ўтхоналарда ёқилганда α=1,1-1,15 га тенг бўлади.

Газ ва суюқ ёқилғининг ёниши

Газ ва суюқ ёқилғининг ёниши бир - биридан кам фарқ қилади, чунки суюқ ёқилғи ёнишидан олдин бугланади. Ёқилғи ёнганда унинг таркибидаги ёнувчан элементларнинг кимёвий оксидлаш жараёни рўй беради ва натижада жадал иссиқлик ажралиб, ёниш маҳсулотлари температураси кескин кўтарилади.

Ёниш гомоген (яъни, ёқилғи ва оксидловчи модда бир хил агрегат ҳолатида бўлади) ёки гетероген (яъни. ёқилғи ва оксидловчи модда турли агрегат ҳолатида бўлади) бўлиши мумкин. Суюқ ёқилғида балласт деярли бўлмайди, шунинг учун у фақат машъала қилиб ёқилади. Ёқиш пайтида ёқилғини бутунлай тўзитиб юбориш керак. Ёқилғи яхши тўзитилмаса, ёниш маҳсулотлари ичида кўп миқдорда ёнмаган соф углерод С, углерод (II) - оксид СО ва углеводородлар CmHn қолиши мумкин.

Газ ёқилғисини суюқ ва қаттиқ ёқилғига қараганда машъала усулида осон ва самарали ёқиш мумкин. Лекин барча ёқилғини ёқишдаги сингари уни ҳам ҳаво билан яхши аралаштириш лозим. Газ ёқилғисининг ёниш жараёни гомоген бўлади. Ёниш жараёни бошланиши учун газ ва оксидловчи модда бир - бирига тегиб (тутошиб) туриши ва етарли шарт - шароитлар бўлиши лозим. Ёнувчан эле-ментлар нисбатан паст температураларда ҳам оксидланиши мумкин. Бундай шароитда кимёвий реакциялар тезлиги кичик бўлади, темпера-тура ортиши билан реакция тезлиги ошади.

Маълум бир температурага етганда эса, газ - ҳаво аралашмаси алангаланади (ўт олади), реакциялар тезлиги ортади ва ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ёқилғини ўз - ўзидан ёнишини таъминлаш учун етарли бўлади.

Аралашма алангаланадиган (ўт оладиган) энг паст температурага алангаланиш (ўт олиш) температураси дейилади. Бу катталик ёқилғи-

нинг физик хоссаларига, ёндириш усулига, аралашмадаги ёқилғи миқдорига ва шу кабиларга боғлиқ бўлади. Масалан, водороднинг ўт олиш температураси 820-870К, углерод оксиди ва метанники мос равишда 1020-930 ва 120-1070К.

Баъзи ёқилғиларнинг ўт олиш температуралари 12.4-жадвалда келтирилган.

Ёқилғи ўт олиш температурасининг α коэффициентга боғлиқлиги.

12.4 - жадвал.

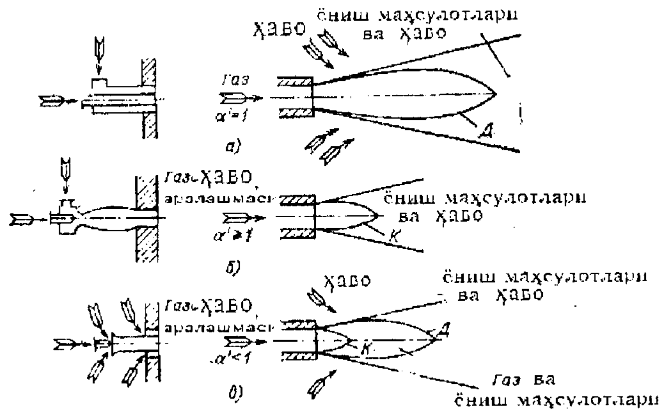
Ёқилғи номи	Ўт олиш температураси, °С			
	α = 1,0	α = 1,3	α = 1,5	α = 2,0
Антрацит	2270	1845	1665	1300
Торф	1700	1510	1370	1110
Мазут	1125	1740	1580	1265
Ўтин	1855	1575	1435	1165
Газ (Саратов)	2000	1149	1778	1167

Маълумки, газ машъала бўлиб ёнади. Машъала бу ёниш жа-раёни кечаётган, ҳаракатланаётган газларнинг маълум бир ҳажмидир. Ёниш назарияси умумий қоидаларига асосан, газнинг машъала қилиб ёқиш усули кинетик ва диффузион усулларга ажратилади. Кинетик ёндиришда газ ва ҳаво ёнишидан олдин аралаштирилади.

Газ ва ҳаво, аввало горелканинг аралаштириш қурилмасига узатилади. Аралашманинг ёниши аралаштиргичдан ташқарида рўй беради. Бу ҳолда жараён тезлиги кимёвий реакциялар тезлиги билан чегараланади яъни $\tau_{ён} \approx \tau_{ким}$ бўлади. диффузион ёниш газ билан ҳавонинг аралашиш жараёнида рўй беради. Газ ҳаводан алоҳида ҳолда ишчи ҳажмга юборилади. Бу ҳолда жараён тезлиги газ-нинг ҳаво билан аралашиш тезлиги билан чегараланади, яъни $\tau_{ён} \approx \tau_{физ}$. Диффузион ёнишнинг яна бир кўриниши аралаш ёниш (диффузион-кинетик) бўлиб, бунда газ дастлаб маълум бир миқдордаги ҳаво билан (тўлиқ ёниш учун етарли бўлмаган) аралашади. Шу ерга ҳавонинг қолган қисми (иккиламчи ҳаво) алоҳида юборилади.

Қозон агрегатлари ўтхоналарида асосан кинетик ва аралаш ёндириш усуллари қўлланилади. Диффузион усул кўпроқ саноат печларида қўлланилади.

Газ оқимининг машъаласида ҳаракат усулига қараб, машъала ламинар ва турбулент бўлиши мумкин. Техникада асосан турбулент ёниш ишлатилади. Газ ёқилғисининг ёндириш тартиблари 12.5-расм тасвирланган.



12.5-расм. Газ ёқилғисининг ёндириш тартиблари.
а-газ ва ҳавонинг ташқарида аралашиши;
б-тўлиқ ички аралашиш; в-қисман ички аралашиш;
к-кинетик ёниш соҳаси; д- диффузион ёниш соҳаси.

Саноат иссиқлик энергетикасида фойдаланилаётган асосий суюқ ёқилғи мазут ҳисобланади. Суюқ ёқилғининг ёниши асосан буғгаз фазада рўй беради, бунга сабаб шуки, унинг қайнаш температураси ўт олиш температурасидан анча паст бўлгани туфайли, у ўт олишдан олдин буғланади. Суюқ ёқилғини ёндириш жараёнини қуйидаги босқичларга ажратиш мумкин:

1) ёқилғини иситиш ва буғланиши;

2) ёнувчан аралашмани ҳосил бўлиши (ёқилғи буғларини ҳаво билан аралашиши);

3) ёнувчан аралашманинг ўт олиши;

4) аралашманинг ёниши.

Ёнишни жадаллаштириш учун ёнувчи элементларни ҳаво билан тез ва пухта аралаштириш лозим. Ёниш учун зарур бўлган ҳавони маш'алани асосига юборилса оксидлаш реакциялари кучаяди. Буғ-ҳаво аралашмасининг гомоген ёниши-кимёвий жараён, буғланиш эса, ўзининг табиатига кўра физик жараён. Шунинг учун ёнишнинг ниро-вард тезлиги ва вақти физик ёки кимёвий жараёнларнинг жадаллиги билан белгиланади. Агар ҳосил бўлаётган буғларнинг ёниб бўлиш тезлиги ёқилғининг буғланиш тезлигидан анча катта бўлса, у ҳолда ёниш тезлиги сифатида буғланиш тезлиги олинади ва бунда $\tau_{ён}=\tau_{буғ}=\tau_{физ}$ бўлади. Тескари ҳолатда эса, ёндириш жараёни жадаллиги бутунлай кимёвий ре-акциялар тезлигига боғлиқ бўлади, яъни $\tau_{ён}=\tau_{ким}$.

Суюқликнинг бугланиши, суюқ ёқилғи ёниш босқичлари ичида энг узоқ давом этадиганн ҳисобланади. Шунинг учун уни бутунлай тўзитиб юбориш керак.

12.3. Ёниш жараёнларини ҳисоблаш.

Ёнишнинг кимёвий формулалари асосида 1 кг ёқилғи тўлиқ ёниши учун зарур бўлган ҳавонинг назарий миқдорини (Vo) аниқлаймиз.

1 кг қаттиқ ёки суюқ ёқилғида углерод $C^{и}$/100кг, водород $H^{и}$/100кг, олтингугурт $S^{и}$/100кг, кислород $O^{и}$/100кг бўлади. 1 кг ёқилғи тўлиқ ёниши учун қуйидагича кислород зарур :

$$M = \frac{8}{3}\cdot\frac{C^{и}}{100} + 8\frac{H^{и}}{100} + \frac{S^{и}}{100} \qquad (12.22)$$

1 кг ёқилғида Ои/100 кг кислород борлигини ва ҳавода кислород 23% (масса бўйича) эканлигини эътиборга олиб, 1 кг ёқилғи тўлиқ ёниши учун зарур бўлган ҳавонинг назарий миқдорини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$L_0 = \frac{100}{23}\left(\frac{8}{3}\cdot\frac{C^{и}}{100} + 8\frac{H^{и}}{100} + \frac{S^{и}}{100} - \frac{O^{и}}{100}\right) =$$

$$= 0{,}115\left(C^{и} + 0{,}375S^{и}\right) + 0{,}342H^{и} - 0{,}043O^{и}, \qquad (12.23)$$

бунда Lo-зарур бўлган ҳавонинг назарий миқдори, кг/кг.

Стандарт физик шароитда ($t=0^{\circ}C$, $p=1\cdot10^{5}Па$)

1м³ ҳаво 1,293 кг бўлади. 1 кг ёқилғи учун ҳавонинг назарий миқдори (м³) қуйидагига тенг.

$$V_0 = \frac{L_0}{1{,}293} = 0{,}0889(C^{и} + 0{,}375S^{и}) + 0{,}265H^{и} - 0{,}033O^{и} \qquad \textbf{(12.24)}$$

Газ ёқилғиси учун ҳаво сарфи V_0 ёнувчан элементларнинг ҳажмий улушларидан келиб чиққан ҳолда ва қуйидаги ёниш реакциялари асосида аниқланади:

$$\begin{aligned} &H_2+0{,}5O_2=H_2O\\ &CO+0{,}5O_2=CO_2\\ &CH_4+2O_2=CO_2+2H_2O\\ &H_2S+1{,}5O_2=SO_2+H_2O \end{aligned} \qquad \textbf{(12.25)}$$

1м³ газ ёқилғиси тўлиқ ёниши учун зарур бўлган хавонинг назарий миқдори (м³/ м³) қуйидаги формуладан аниқланади:

$$V_0 = 0{,}0476\left[0{,}5CO + 0{,}5H_2 + 1{,}5H_2S + 2CH_4 + \sum\left(m + \frac{n}{4}\right)\cdot C_mH_n - O_2\right]$$

Маълумки, тўлиқ ёнишдаги ёқилғи маҳсулотлари CO_2, SO_2, H_2O ларнинг аралашмасидан иборат. Булардан ташқари ёниш маҳсулотлари таркибида N_2 ва ёнишда қатнашмаган ҳавонинг кислороди бўлади. Ёқилғи тўлиқ ёнмаса, (чала ёнса) ёниш маҳсулотлари таркибида углерод оксиди, водород, метан ва бошқа ёнувчан элементлар бўлиши мумкин.

Ёниш маҳсулотлари таркибида уларнинг миқдори, одатда жуда озлиги учун булар деярли ҳисобга олинмайди.

Ёниш маҳсулотлари ҳажми $V_ё$ икки қисмдан иборат:

Қуруқ газлар $V_қ$.гва сув буғлари V_{H2O}

$$V_ё=V_{кг}+V_{H2O} \qquad (12.26)$$

$$\text{У ҳолда} \quad V_ё=V_{CO2}+V_{SO2}+V_{N2}=V_{O2} \qquad (12.27)$$

$$\text{Таркиб фоизи } CO_2+SO_2+N_2+O_2=100\% \qquad (12.28)$$

Бунда $CO_2=\frac{V_{CO_2}}{V_{к.г}}\cdot 100\%$; $SO_2=\frac{V_{SO_2}}{V_{к.г}}\cdot 100\%$ ва ҳоказо.

Ҳисоблашни соддалаштириш учун қуруқ ёқилғи маҳсулотлари таркибидаги уч атомли газлар миқдорини биргаликда ҳисоблаймиз ва RO_2 билан белгилаймиз, яъни $CO_2+SO_2=RO_2$

У ҳолда

$$V_{к.г}=V_{RO_2}+V_{N_2}+V_{O_2} \qquad (12.29)$$

Уч атомли газлар миқдори қуйидагига тенг:

$$V_{RO_2}=\frac{11}{3}\cdot\frac{C^и}{100\rho_{CO_2}}+2\frac{S^и}{100\rho_{SO_2}}, \qquad (12.30)$$

бунда $\rho_{CO2}=1{,}977$ ва $\rho_{SO2}=2{,}927$ - мос равишда CO_2 ва SO_2 ларнинг зичликлари.

У ҳолда

$$V_{RO2}0{,}0186(Си+0{,}375Sи) \qquad (12.31)$$

Ҳавонинг таркибида 79% (ҳажм бўйича)азот бўлгани учун, ёниш маҳсулотлари таркибида қуйидагича азот бўлади. ($м^3$/кг):

$$VN_2=0{,}79\alpha V_0 \qquad (12.32)$$

Кислород ёниш маҳсулотлари таркибига фақат ортиқча ҳаво бўлсагина, кириб қолади, у ҳавода 21% (ҳажм бўйича) бўлгани учун унинг миқдори қуйидагига тенг ($м^3$/кг)

$$V_{O_2} = 0.21(V - V_O) = 0,21(\alpha - 1)V_O \qquad (12.33)$$

ёниш маҳсулотларидаги қуруқ газлар миқдори ($м^3/кг$) қуйидагига тенг:

$$V'_{кк} = 0,0186(C^{и} + 0,375S^{и}) + (\alpha - 0,21)V_O + 0,79\alpha V_O \qquad (12.34)$$

Ёқилғи таркибидаги азот бутунлай ёниш маҳсулотларига ўтишини ҳи-собга олсак, у ҳолда:

$$V_{кк} = 0,0186(C^{и} + 0,375S^{и}) + (\alpha - 0,21)V_O + 0,008N^{и} \qquad (12.35)$$

1 кг ёқилғи ёнганда ҳосил бўлган сув буғлари миқдори ёқилғидан чиққан сув буғлари ва ҳаво билан кирган сув буғлари йиғиндисига тенг:

$$V_{H_2O} = \frac{1}{\rho_{H_2O}}\left(9 \cdot \frac{H^{и}}{100} + \frac{W^{и}}{100} + W_c\right) \qquad (12.36)$$

бу ерда ρ_{H2O}=0,804$м^3$/кг-сув буғи зичлиги;

W_c-ҳаво билан ўтхонага кираётган сув буғи массаси (8-10г/кг га тенг деб хисобланади);

ρ_{H2O} ва W_c қийматларини (6) формулага қўйиб сув буғи ҳажмини ($м^3$/кг) аниқлаймиз.

$$V_{H_2O} = 0,0124(9H^{и} + W^{и}) + 0,0161\,\alpha V_O \qquad (12.37)$$

Агар мазутни ёқишда бут форсункалари қўлланилса, у ҳолда форсун-ка орқали узатилаётган сув буғи миқдорини ҳам ҳисобга олиш зарур.

Ёниш маҳсулотларининг умумий миқдори (12.37) ва (12.35) фор-мулаларни ҳисобга олган ҳолда (12.26) формуладан аниқланади.

Газ ёқилғиси учун ёниш маҳсулотлари миқдори ($м^3$/ $м^3$) қуйидагига тенг:

$$V_г = V_{RO_2} + V_{N_2} + (\alpha - 1)V_O + V_{H_2O} \qquad (12,38)$$

бу ерда

$$V_{N_2} = 0,79V_0 + 0,01N \qquad (12,39)$$

$$V_{RO} = 0,01(CO_2 + CO + CH_4 + H_2S + \sum mC_mH_n) \qquad (12.40)$$

$$V_{H_2O} = 0,01(H_2 + 2CH_4 + H_2S + \\ + \sum 0,5nC_mH_n + 0,016V_0 + 0,124d_г) \qquad (12.41)$$

бу ерда $d_г$ газ ёқилғисининг намлиги,г/$м^3$. Ёқилғи чала ёнса, ёниш маҳсу-лотлари таркибида юқорида келтирилган компонентлардан ташқари яна углерод оксиди СО бўлади. У ҳолда ёниш маҳсулотлари таркиби (ҳажм бўйича) қуйидагича бўлади:

$$RO_2 + CO + N_2 + O_2 + H_2O = 100\% \qquad (12.42)$$

ёниш реакциясига асосан:

$$V_{RO_2} + V_{CO} = 1{,}86\frac{\left(C^{и} + 0{,}375S^{и}\right)}{100} \qquad (12.43)$$

Шундай қилиб, қаттиқ ва суюқ ёқилғи учун ёниш маҳсулотлари ҳажми ($м^3/кг$) қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$V_{к.м} = 1{,}86\frac{\left(C^{и} + 0{,}375S^{и}\right)}{RO_2 + CO} \qquad (12.44)$$

газ ёқилғиси учун ($м^3/м^3$)

$$V_{кк} = \frac{CO_2 + CO + CH_4 + \sum mC_mH_n}{CO_2 + CO + CH_4} \qquad \textbf{(12.45)}$$

Иссиқлик қурилмаларини ҳисоблаш учун газларнинг энтальпиясини билиш керак. Қурилмага киришдаги ва чиқишдаги энтальпиялар фарқи фойдали ишлатилган иссиқликка тенг бўлади. Газлар энтальпиясини 1кг ёндирилган ёқилғига нисбатан олинади ва қуйидаги формуладан аниқланади:

$$h = \sum\left(Vc_pt\right)_k = V_{RO_2} + V_{O_2}\left(C_pt\right)O_2 + V_{N_2}\left(C_pt\right)_{N_2} + V_{H_2O}\left(C_pt\right)_{H_2O} \qquad (12.46)$$

бу ерда $(c_p)_к$-ёниш маҳсулотларининг ўзгармас босимдаги ўртача иссиқлик сиғими Ж/($м^3$·К).

12.4. Ёқилғини ёндиришга тайёрлаш.

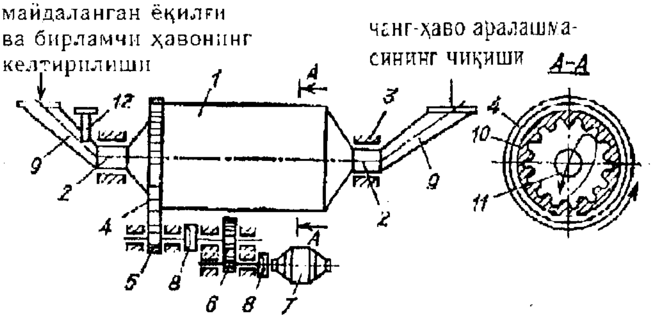
Чангсимон кўмир ёқилғи тайёрлаш.

Йирик энергетик қурилмаларда чангсимон ва жуда майдаланган ёқилғи асосий ёқилғи ҳисобланади. У махсус кўмир тегирмонларида антрацит, тошкўмир ва қўнғир кўмир, торф ҳамда сланец бўлакларидан ва май-даларидан фойдаланиб тайёрланади. Ёқилғини майдалаш унинг сиртини кескин ошириб юборади ва янада тўлиқ ёнишига имкон туғдиради.

Электростанцияларга ёки қозонхоналарга кўмирнинг ўлчамлари турлича бўлган (1-300 мм) бўлаклар кўринишида келади. Кўмир бўлаклари майдалаш машиналарида 15-25 мм гача майдаланади. Майдаланган кўмир бўлаклари тегирмонларга юборилади ва у ерда ўлчами 0,1 - 1000 мкм гача бўлган чанг (кукун) ҳолига келтирилиб, кўмир чангини ёқиш горелкасига юборилади.

Тегирмонлар қуйидаги турларга ажратилади: Айланиш частотаси 0,25-0,42 $с^{-1}$ бўлган секин айланадиган тегирмонлар.

Бундай турдаги тегирмонларга шар барабанли тегирмон мисол бўла олади(12.6-расм).



12.6-расм. Шар барабанли тегирмон.
1-барабан; 2- цапфалар; 3-подшипниклар; 4-катта шестерня; 5-кичик шестерня; 6- редуктор; 7-электродвигатель; 8-улаш муфтаси; 9- қўзғалмас потрубкалар; 10-зирхли плиталар; 11- шарларнинг ҳаракат траекторияси; 12-сепаратордан қайтиш.

Диаметри ∅ 2-4 м бўлган цилиндрик барабан электровигател 7 ва шестернялар 4-6 ёрдамида айланади. Барабаннинг ички қисмига едирилишга чидамли марганецли пўлат плиталар қопланган. Барабанга диаметри 30-40 мм ли пўлат шарлар ва майдалаб кукунга айлантирилиши лозим бўлган ёқилғи солинади. Шарлар думалаб, ёқилғини уриб кукунга айлантиради. Бундай тегирмонларда намлиги юқори бўлган қўнғир кўмир ва торфдан ташқари барча қаттиқ ёқилғиларни майдалаш мумкин.

Айланиш частотаси 0,85-1,3 $с^{-1}$ бўлган ўртача айланадиган тегирмонлар. Улар икки хил бўлади:

Айланувчи цилиндрли - цилиндрлар айланаётган плиталар устида думалаб, ёқилғини эзади ва майдалайди. Бундай тегирмонларда учувчан моддалар миқдори ўртача ва намлиги ҳам ўртача бўлган тошкўмирларни майдалаш мумкин;

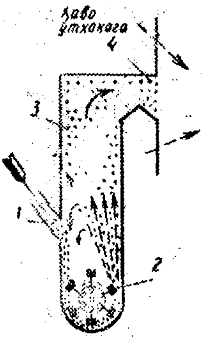
Шарли - бундай тегирмонларда шарлар айланувчан халқада думалаб, ёқилғини майдалайди.

Айланиш частотаси 12,5-25 $с^{-1}$ бўлган тез айланувчи тегирмонлар. Буларга қуйидагилар киради:

Тўқмоқли тегирмонлар. Бунда айланиб турадиган тўқмоқлар ёрдамида ёқилғи майдаланади.(12.7-расм) Бундай тегирмонларда намлиги кам бўлган қўнғир кўмирлар майдаланади.

Тегирмон вентиляторлар-парраклари марганецли пўлатдан тайёрланган вентилятор тушаётган ёқилғи бўлакларини майдалайди. Бундай тегирмонлардан намлиги юқори бўлган қўнғир кўмирларни ва торфни майдалашда фойдаланилади.

12.7-расмда тўқмоқли тегирмоннинг схемаси кўрсатилган.



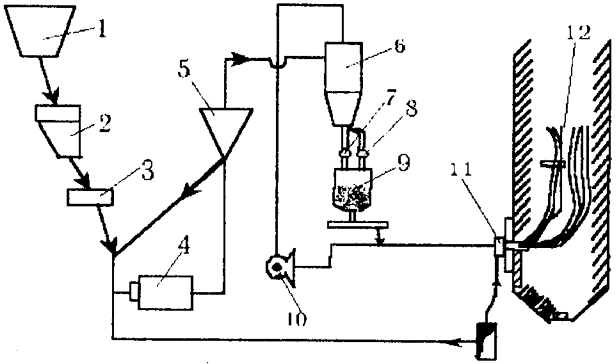
12.7-расм. Шахта тегирмон схемаси.

Шахта 3 нинг тубида марганецли пўлатдан тайёрланган тўқмоқча 2 ли ротор жойлашган. Шахтанинг ички қисми зирх билан ҳимоя қилинган. Ёқилғи патрубка 1 орқали тегирмон шахтаси 3 га солинади ва айланиб турадиган тўқмоқчалар 2 га тушади. Тўқмоқча 700-900 айл/мин. тезлик билан айланиб, ўзига тушаётган ёқилғини парчалайди ва майдалайди. Ҳосил бўлган ёқилғи бўлаклари билан чанг аралашмасини қайноқ ҳаво оқими шахтанинг юқориги қисмига илаштириб кетади. Ёқилғининг йирик бўлаклари тегирмон шахтасига қайтиб тушади ва яна майдаланади.

Қаттиқ ёқилғини чангсимон ҳолга келтириш алоҳида схема ёки оралиқ бункерли схема бўйича амалга оширилади. Алоҳида схема бўйича чанг бевосита тегирмондан ўтхонага ўтади. Оралиқ бункерли схемаларда кўмир чангининг захираси бўлиши назарда тутилади. Бу схема энг ишончли схемадир, шу сабабли мамлакатимиздаги йирик электр станцияларининг қозонхоналарида кенг кўламда қўлланилади.

12.8-расмда чанг тайёрлаш усулининг оралиқ бункерли схема-си келтирилган.

Ёқилғи бункер 1 дан тарози 2 га берилади, сўнгра эса, таъминлагич 3 га узатилиб, ундан тегирмон барабани 4 га ўтади. Ба-рабанга харорати 250-400°С ли қайноқ ҳаво пуфланади. Бу ерда ёқилғи қурийди ва майдаланади. Ҳаво чангни тегирмондан сепаратор 5 га олиб чиқади, бу ерда чанг фракцияларга ажралади. Тайёр чанг сепара-тордан тегирмон вентилятори ёрдамида циклон 6 га йўналтирилади, ёқилғининг яхши майдаланмаган зарралари эса, тегирмонга қайтари-лади. Циклонда чангнинг 90%га яқини ҳаводан ажралади ва чўкади, клапан 7 лар орқали оралиқ бункер 9 га ёки шнек 8 орқали бошқа бункерга йўналтирилади.



12.8-расм. Оралиқ бункерли чанг тайёрлаш схемаси.

Циклондаги озгина чанг аралашган ҳавони вентилятор сўриб олади ва аралаштиргичга йўналтиради, бу ерга бир вақтнинг ўзида оралиқ бункеридан ёқилғи чанги ҳам берилади. Тайёр чанг ёқиш учун ўтхона 12 нинг горелкаси 11 га пуфланади. Кўмир чангининг сифати, асосан унинг майинлик даражаси, охирги намлиги ва портлаш ҳавфи йўқлиги билан аниқланади.

Кўмир чангини ёқиш горелкаси.

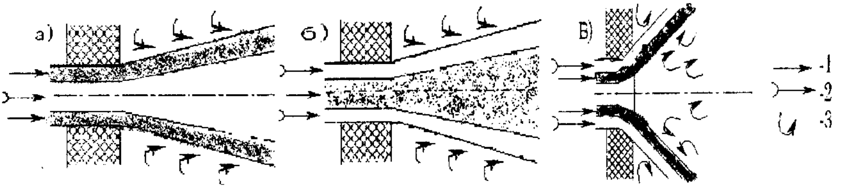
Чангсимон ёқилғининг тез ва тежамли ёниши ҳамда ҳосил бўладиган машъаланинг барқарорлиги асосан, кўмир чангининг ёниш камерасига пуркаб берадиган горелкаларнинг ишлашига боғлиқ. Го-релкалар қуйидаги талабларга жавоб бериши керак:

ёқилғи билан ҳавони яхши аралаштириши лозим;

ёнувчи аралашманинг ёндирилиши пухта бўлиши керак;

машъала ўтхона камерасини бутунлай тўлдириши керак ва горелкани созлаш осон бўлиши лозим.

Чангсимон ёқилғини ёқишда, асосан, горелкаларнинг икки хили: уюрмали (аралашма ва иккиламчи ҳаво шиддат билан уюрма ҳосил қилиб ҳаракатланади) ва тўғри оқимли тирқишли горелкалар ишлати-лади. Тирқишли горелкаларда чанг - ҳаво аралашмаси ўтхонага тор тирқиш орқали узатилади. Аралашманинг бундай узатилишида машъаланинг узоққа отилиши анча ортади. Бундай горелкалар ўтхона камерасида қарама-қарши ёки бурчакларга ўрнатилади. Уюрмали горелкаларда машъала узунлиги катта бўлмайди ва улар ўтхона каме-расининг рўпарасидаги деворга ўрнатилади. Чанг ҳаво аралашмасини ва иккиламчи ҳавони ўтхонага узатиш схемаси 12.9-расмда кўрсатил-ган.



12.9-расм. Кўмир чангини ёқиш горелкаларининг асосий схемалари. а,б- тўғри оқимли горелкалар; в-уюрмали горелкалар; 1-иккиламчи ҳаво; 2-чанг-ҳаво аралашмаси; 3-қайноқ газларнинг айла-ниши.

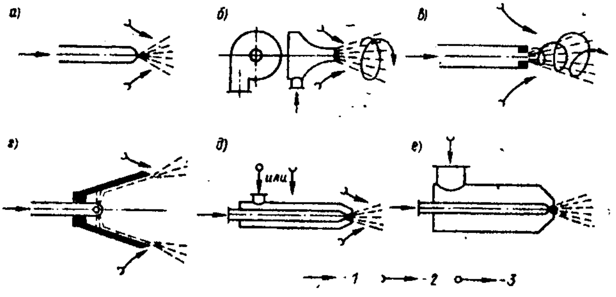
12.9-расмда (а,б) чанг ҳавони ва ҳавони тўғри оқимли тирқишли горелкага узатиш усуллари кўрсатилган. Шу расмда яна уюрмали горелкага чанг ҳавони ва ҳавони узатиш кўрсатилган. Чанг ҳаво ара-лаш-

маси марказий қувур орқали узатилади, иккиламчи ҳаво эса, чек-кадаги каналдан узатилади.

Суюқ ва газ ёқилғи ёқиладиган горелка ва форсункалар

Ўтхоналарда ёқиладиган суюқ ёқилғи горелканинг таркибий қисми бўлган форсункалар ёрдамида пуркалади ва пуркалган ёқилғи ҳаво билан яхши аралашиб тўлиқ ёнади. Қозон қурилмаларида суюқ ёқ-илғилардан фақат мазут ёқилади. Яхши пуркалиши учун мазут ол-диндан 140-160°С гача иситиб олинади. У бир вақтнинг ўзида мазут ташишни ҳам осонлаштиради, чунки харорат кўтарилиши билан ма-зутнинг қовушоқлиги камаяди. Мазут ғилоф-қувурли ИАА ларида буғ ва иссиқ сув ёрдамида иситилади. Мазутнинг қотиб қолишининг ол-дини олиш учун уни ИАА ва горелка орасида узлуксиз айланиши таъминланади. Мазутни майда қаттиқ зарралардан тозалаш учун, унинг тешиклари сони хар 1 см2 да 5 ё40 та бўлган фильтрлардан ўтказилади. Мазут форсункалари пуркаш усулига қараб тўрт гуруҳга ажратилади: буғли, ҳаволи, комбинациялаштирилган ва механикавий.

12.10-расмда қўлланилаётган форсункаларнинг асосий схемалари кўрсатилган.



12.10-расм. Мазут форсункаларининг асосий схемалари. 1-ёқилғи; 2-ҳаво; 3-буғ.

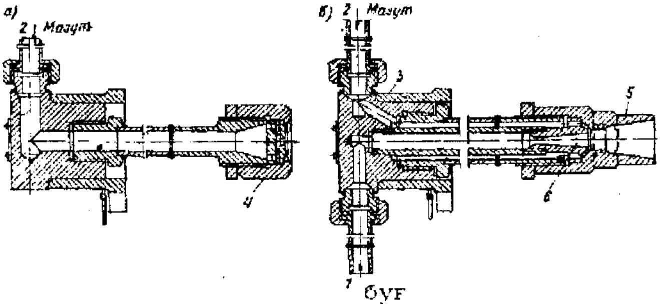
Механикавий форсункаларни тўғри оқимли, марказдан қочирма ва ротацион форсункаларга бўлиш мумкин. Тўғри оқимли форсункаларда, ёқилғи оқими кичик диаметрли сопло орқали ўтишида 1-2 МПа босим билан сиқилади ва натижада у тўзғитилади(12.10-расм,а).

Марказдан қочирма форсункаларда ёқилғи марказдан қочирма кучлар таъсирида тўзитилади (12.10-расм, б,в). Ротацион форсункаларда (12.10-расм,г) ёқилғи тез айланиб сочиб турувчи стакан ичига узатилади, у ерда ёқилғи марказдан қочирма кучлар таъсирида юпқа пленка ҳосил қилиб оқиб чиқади. Стакандан чиқаверишда юпқа плёнканинг бирламчи ҳаво илаштириб кетади. Буғли ва ҳаволи форсункаларни бир гуруҳга - тўзғитадиган муҳитли форсункаларга бирлаштириш мумкин.

Буғли форсункаларда (12.10-расм, д)бундай муҳит сифатида босими 0,4-1,6МПа бўлган сув буғи ишлатилади. Мазут форсункага 0,3-0,4МПа босим остида узатилади. Буғ оқими тезлиги қанчалик катта бўлса, ёқилғи шунчалик майда пуркалади. Аксарият ёқилғи форсункаларида буғнинг критик тезлигига эришилади. Буғли форсункаларнинг тузилиши механикавий форсункаларга қараганда содда лекин буғнинг сарфи катта бўлганлиги (1 кг мазутга 0,30-0,35 кг буғ) ва кучли шовқин туфайли улар унумдорлиги 3,3 кг/с гача бўлган қозон агрегатларида ишлатилади.

Ҳаволи форсункаларда тўзғитувчи муҳит сифатида ҳаво ишлатилади. Бундай форсункаларни паст ва юқори босимли форсункаларга ажратиш мумкин. Биринчи гурух форсункаларида ҳавонинг босими 0,2-1 МПа га тенг бўлади(12.10-расм,д), иккинчи гурух форсункаларида эса, ҳавонинг босими 0,002-0,008 МПа га тенг бўлади.

12.11-расмда марказдан қочирма ва буғли форсункаларнинг тузилиши кўрсатилган.



12.11-расм. Мазут форсункалари.
а-марказдан қочирма: б-буғли.
1,2- буғ ва мазут учун қувурлар;
3-қобиқ; 4-узатиш канали; 5-насадка; 6-сопло.

Газ горелкалари ишлаш усулига қараб қуйидагиларга бўлинади:

Кинетик горелкалар - бунда газ ҳаво билан горелкадан чиқишидан олдин тўлиқ аралашади;

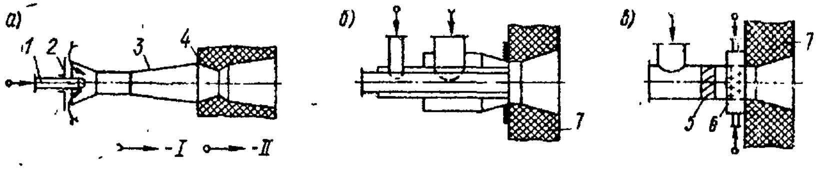
Диффузион - кинетик горелкалар - бунда газ ҳаво билан қисман аралашади;

Диффузион горелкалар-бунда газ ҳаво билан горелкадан ташқарида аралашади.

Ҳавони узатиш усулига қараб горелкалар инжекцион ва ҳаво мажбурий узатиладиган (пуфланадиган) горелкаларга бўлинади.

Шунга асосан горелкалар паст босимли (5кПа гача), ўрта босимли (5кПа-0,3 МПа) ва юқори босимли (0,3МПа дан юқори) горелкаларга

бўлинади. 12.12-расмда газ горелкаларининг асосий схемалари кўрсатилган.



12.12-расм. Газ горелкалари схемалари.

1- газ соплоси; 2-ҳаво қопқоғи; 3-аралаштиргич; 4-сопол насадка; 5-куракли уюрмалантиргич;6-газ коллектори; 7-ўтхонанинг копламаси; I-ҳаво; II-газ; а-инжекцион горелка; б- ҳаво мажбурий узатиладиган горелка.

Инжекцион горелкада (12.12-расм,а) газ соплодан чиқаётган ҳавони сўради ва у билан аралашади. Газ-ҳаво аралашмаси горелкага бевосита қўшилиб кетган ўтга чидамли материалдан тайёрланган насадкада ёнади. Горелкадан ўтаётган газнинг сарфи тузилишига боғлиқ равишда 0,5 дан 1000м^3/соат гача ўзгаради. Насадканинг узунлиги 1м гача, газ-ҳаво аралашмасининг тезлиги эса 30-80 м/с бўлиши мумкин.

12.12-расмда (б) ҳаво мажбурий узатиладиган оддий горелканинг схемаси тасвирланган. Горелкада ички қувурлар орасига газ узатилади. Ташқи қувурлар орасига эса ҳаво узатилади. Газ ички қувур орқали ёндирилади ва шу орқали горелканинг шилаши кузатилиб турилади.

Газ-мазут горелкалари асосий ёқилғи газ ва захирадаги ёқилғи мазут бўлган қўйгина ҳолларда қўлланилади. Бундай горелкаларда газ ёки мазутни алоҳида ва бир вақтнинг ўзида иккала ёқилғини ёндириш мумкин. Лекин газ ва мазут биргаликда ёқилганда ўтхона нерофланади, яъни q_3 (кимёвий) ва q_4(механик) нерофлар ортиб кетади. Мазут форсункаси горелканинг марказий канали ичида жойлашади. Қозонлар, одатда икки хил ёқилғини ёқиш имкониятидан келиб чиққан ҳолда лойиҳаланади. Масалан, чангсимон ёқилғи учун ўтхоналарда захира ёқилғиси сифатида асосан газ ишлатилади. Бундай ҳолларда кўмир чангини ёқиш горелкалари чанг - газ горелкаларига ўзгартирилиб, унга газ ёқилғиси узатилади.

Назорат учун саволлар

1. Қаттиқ ёқилғи таркибини келтиринг.
2. Газ ёқилғиси таркибини келтиринг.
3. Ёқилғи турлари.
4. Ёнувчан масса қандай элементлардан ташкил топган?
5. Кокслашни тушунтириб беринг.
6. Чала кокс деб нимага айтилади?
7. Ёқилғининг ёниш иссиқлиги.
8. Шартли ёқилғи деб нимага айтилади?
9. Ёниш реакцияларини келтиринг.
10. Чала ёниш деб нимага айтилади?
11. Қатламли ёқиш.
12. Машъалали ёқиш.
13. Ортиқча ҳаво коэффициенти.
14. Ўт олиш температураси қандай аниқланади?
15. Чангсимон ёқилғи қандай тайёрланади?
16. Горелкалар қандай ишлайди?
17. Форсункалар қандай ишлайди?

ЎН УЧИНЧИ БОБ

САНОАТ ПЕЧЛАРИ ВА ЎТХОНАЛАРИ

13.1. Саноат печлари .Саноат печлари ҳақида умумий маълумот

Саноат печларида ёниш маҳсулотлари - газлар иссиқлик ташувчи вазифасини бажаради. Уларнинг иссиқлиги энергетик мақсадларда эмас, балки, технологик мақсадларда ишлатилади.

Печлар маиший ва саноат печларига бўлинади. Саноат печларининг асосий вазифаси - материаллар ва буюмларга термик ишлов (материалларни қиздириш ва эритиш, кулолчилик буюмларини пиширишш, нон ёпиш, қуритиш ва ш.к.) беришдир. Улар юқори температурали жараёнлар кечадиган қурилмалар қаторига киради. Масалан, металларни мартен печларида эритиш учун 1800-2000 С температура зарур бўлади.

Темирчилик печларида пўлатлар 1300 - 1500 °С температурада қиздирилади, ўтга чидамли материаллар эса, 1500 - 1800°С температураларда пиширилади. Печлар ишлаб чиқаришнинг кўп соҳаларида (металлургия, машинасозлик, озиқ - овқат ва кимё саноати, қурилиш материаллари ва бошқалар) кенг кўламда ишлатилади.

Саноат печларида асосий иссиқлик манбаи - органик ёқилғи-дир. Электр печлари ҳам ҳозирги вақтда кенг қўлланилмоқда.

Бугунги кунда саноат печларининг умумий қабул қилинган аниқ бир таснифи йўқ.

Масалан, уларни қуйидагича таснифлаш мумкин:

1. Технологик вазифасига кўра:

Эритиш печлари - буларда металлар, минераллар, шиша ва шу кабилар (домна ва мартен печлари, рангли металлар эритиш печлари ва шу кабилар) эритилади;

Қиздириш печлари - буларда металларга ишлов беришдан олдин улар қиздирилади (темирчилик печлари), термик печлар -буларда материалларга термик ишлов бериш мақсадида улар қиздирилади;

куйдириш (пишириш) печлари - буларда турли хил материаллар (сопол, охак, цемент) куйдирилади;

қуритиш печлари - буларда материаллардан намлик чиқариб юборилади, бўялган буюмлар қуритилади.

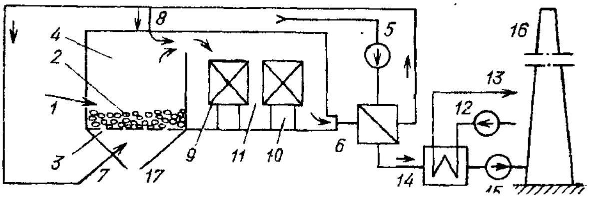
2. Энергия таъминотига кўра:

ёқилғи печлари - булар ҳам ўз навбатида қаттиқ, суюқ ва газ ёқилғи печларига бўлинади.

Электр печлари - буларда электр энергияси иссиқлик энергиясига айланади. Бу печлар ҳам қуйидагича ажратилади: электр қаршилик печлари, ёй, индукцион, контакт, электрон ҳамда юқори частотали печ-лар.

3. Ишлаш вақтига қараб: узлуксиз ишлайдиган (13.1-расм); даврий ишлайдиган.

4. Ишчи юзанинг шаклига қараб: камерали (13.1-расм); тоннелли; халқасимон (13.2-расм) - бу печлар пишиқ ғишт ишлаб чиқаришда кенг қўлланилади.

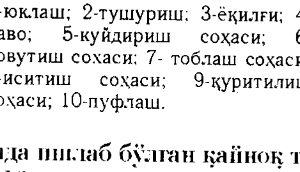


13.1-расм. Саноат печининг умумий схемаси.

1-ёқилғини узатиш; 2- ёқилғи қатлами; 3-панжара; 4-ўтхона (қатламли) 5-пуфлаш вентилятори; 6- регенератив ҳаво иситкич; 7-бирламчи ҳаво; 8-иккиламчи ҳаво; 9-термик ишлов берилаётган буюм; 10-буюмни ташиш қурил-маси; 11-печнинг ички юзаси; 12-таъминот насоси; 13-қайноқ иссиқлик та-шувчи (сув, буғ); 14-қозон утилизатор узатиш; 15-сўриш вентилятори; 16-мўри; 17- кул ва шлакни чиқариб юбориш.

Шахта печлар - булар бўйи чўзилган, кўндаланг кесими юмалоқ, ясси ёки тўғри бурчакли бўлган шишоотдир. Бундай печларга домна печлари мисол бўлади.

Саноат печи тузилишини камерали печ мисолида кўриб чиқай-лик (13.1 - расм)



13.2-расм. Халқасимон печнинг схемаси.

1-юклаш; 2-тушуриш; 3-ёқилғи; 4-ҳаво; 5-куйдириш соҳаси; 6-совутиш соҳаси; 7- тоблаш соҳаси; 8-иситиш соҳаси; 9-қуритилиш соҳаси; 10-пуфлаш.

Бу ерда иссиқлик манбаи сифатида панжарали чўғдонда ёндириладиган қаттиқ ёқилғидан фойдаланилади. Лекин, бизга маълумки энг қулай ёқилғи газ ёки суюқ ёқилғи ҳисобланади. Қатламли ўтхона 4 даги панжарали чўғдон 3 остига пуфлаш вентилятори 5 орқали бирламчи ҳаво 7 ўтказилади. Иккиламчи ҳаво 8 ни ўтка-зиш билан печ-нинг ички юзаси 2 даги температура бошқарилиб турилади. Қурил-ма-нинг Ф.И.К.ни ошириш мақсадида қозон утилизатор 14 ўрнатилади. Қозонга печда ишлаб бўлган қайноқ тутун газлари келади. Қозонга таъминот насоси 12 орқали таъминот суви узатилади. Олинган буғ ёки қайноқ сув 13 иситиш ва электр энергияси олиш учун ишлатилиши мумкин.

Саноат печининг асосий кўрсаткичларига печнинг Ф.И.К., $h_п$, ёқилғининг солиштирма сарфи Вп, иссиқликнинг солиштирма сарфи $q_п$ ва иссиқлик унумдорлиги Qп лар киради:

$$B_Д = Q_ф / Q_к^н \eta_Д \tau [м^3/с]; \qquad Q_Д = B_Д Q_к^н [Вт];$$

$$q_Д = B_Д Q_к^н / G_Д ,$$

бу ерда GП - печнинг махсулоти, кг/с; Qф - фойдаланилган иссиқлик.

Саноат печлари учун юқоридаги кўрсаткичларнинг ўртача қиймати қуйидагига тенг:

$$\eta_Д = 5 \div 70\% ; \quad G_Д = 0{,}0003 \div 0{,}3 кг/с;$$

$$B_П = 0{,}003 \div 0{,}03 м3/с; \quad q_П = 1000 \div 10\,000 Ж/кг.$$

13.2. Ўтхона қурилмалари

Ёқилғининг ёнши жараёни кечадиган қурилма ўтхона дейилади. Ёниш жараёнининг боришини таъминлайдиган ва бошқарадиган ускуналар мажмуи ўтхона қурилмаси дейилади. Ҳар қандай ўтхонани ёндириш қурилмаси билан ўтхона бўшлиги (камераси) нинг қўшилмасидан иборат деб қараш мумкин.

Қаттиқ ёқилғини ёқишда ёқилғи бўлакларини тутиб турадиган панжарали чўғдон ёндириш қурилмаси бўлиб хизмат қилади. Суюқ ва газ ҳолатидаги ёқилғини ёқишда ўтхонага тўзитилган ёқилғини ва ёниш учун зарурий ҳавони пуркаб берадиган форсунка ёки горелкалар ёндириш қурилмаси бўлади. Ўтхона ва унинг йўлларида қозоннинг иссиқ сиртлари жойлашади, улар ўтхонада ёқилғи ёнганда ҳосил бўладиган иссиқликни ўзига олади. Ҳозирги ўтхоналарда ёқилғи шунчалик юқори температурада ёнадики, ёқилғининг ёниши натижасида ҳосил бўлган кул суюқланиб шлакка айланади. Ўтхонанинг юқори температураси ва ўтхона деворига ўтириб қолган суюқланган шлак таъсирида ўтхо-нанинг ички қопламаси тез емирилиши мумкин. Бундан ташқари, ту-тун газлар билан бирга чиқиб кетаётган кулнинг суюқ зарралари иси-тиш сиртларига ўтириб, иссиқлик узатилишини ёмонлантиради. Шу сабабли ўтхона деворлари экранланади, яъни уларнинг олдига ичида сув айланиб юрадиган металл қувурлар ўрнатилади.

Ёқилғини ёқиш усулига қараб ўтхоналар қатламли ва камерали ўтхоналарга бўлинади. Қатламли ўтхоналарда қаттиқ ёқилғи қатлам усулида ёқилади. Камерали ўтхоналар чангсимон ҳолидаги қаттиқ ёқилғи, суюқ ва газ ҳолидаги ёқилғини ёқишга мўлжалланган.

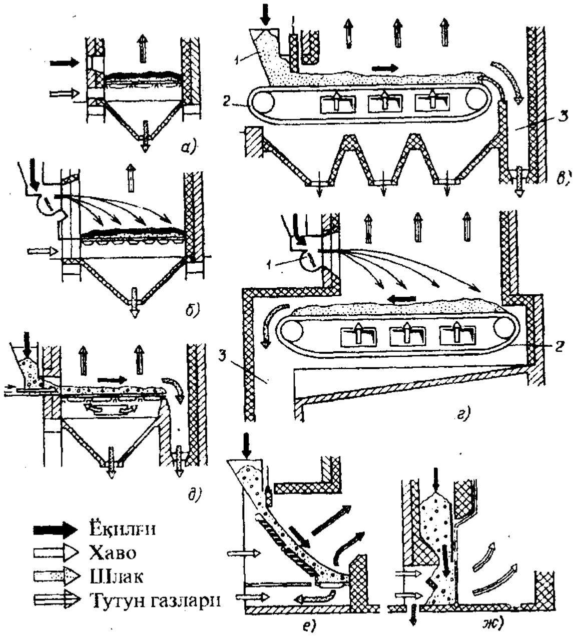
Камерали ўтхоналар машъалали ва уюрмали ўтхоналарга бўлинади.

Қатламли ўтхоналар.

Қатламли ўтхонанинг асосини панжарали чўғдон ташкил этади. Панжарали чўғдон устига маълум қалинликда қаттиқ ёқилғи тенг жойлаштирилади ва панжара остидан ёниш учун зарур бўлган ҳаво табиий равишда ёки мажбуран узатилади.

Панжарали чўғдон ёқилғини тутибгина қолмасдан ёқилғи-га

ҳавони ўтказиш, кул ва шлакни кулхона томонга узлуксиз ўтказиб туриш вазифаларини ҳам бажаради. Чўғдондаги ҳамма тешик ва тирқишлар-ни кўндаланг кесимлари йиғиндиси панжаранинг жонли кесими дейила-ди. Панжарали чўғдон ўлчамлари ёқилғи тури ва унинг бўлакларининг катта кичиклигига мос равишда танланади. Чўғдон асосан чўяндан қуйиб ишланади ва юзаси катта бўлганда, у бир неча бўлакдан ташкил топади.



13.3-расм. Қатламли ўтхоналар схемаси
а-горизонтал панжарали ўтхона; б-ташлагичли ўтхона; в-занжирли ўтхона; г-занжирли тескари йўлли ва ташлагичли ўтхона; д-тебра-ниб турадиган чўғдон-ли ўтхона; е-қия чўғдонли ўтхона; ж-жадал ёнадиган ўтхона (В.В.Померанцов схемаси); 1-бункер; 2-занжирли чўғдон; 3-шлак бункери;

Қатламли ўтхоналарнинг (13.3-расм) қуйидаги турлари мавжуд:

Қўзғалмас чўғдонли ва қўзғалмас қатламли ўтхоналар (13.3-расм, а,б); ёқилғи қатламини аралаштириб ҳаракатланадиган чўғдонли ўтхона-лар (13.3-расм, в,г);

Қўзғалмас чўғдон устида ҳаракатланувчи қатламли ўтхоналар (13.3-расм, д, е, ж).

Ҳозирги пайтда кўпда хизмат кўрсатиладиган ўтхоналар (13.3-расм,

д) жуда кам учрайди. Улардан унумдорлиги кам (1-2т/соатгача) бўлган қозонларда фойдаланилади.

Фақат баъзи жараёнлар механизациялашган ўтхоналар ярим механизациялашган дейилади.

Бундай ўтхоналарда механизациялашган ташлагичлар (13.3-расм б) ишлатилади, улар жуда машаққатли ишдан - ёқилғини чўғдонга қўлда ташлашдан озод қилади.

Бундай ўтхоналарни қўллаш қозон унумдорлигини 6,5 - 10т/соатгача ошириш имконини беради.

Механизациялашган занжирли чўғдонни қўллаш қозоннинг буғ унумдорлигини 150 т/соат гача ошириш имконини беради (13.3 - расм, в). Занжирли чўғдон ёқилғи қатлам - қатлам қилиб ёқиладиган ҳозирги замон кучли ўтхона ускуналарининг асосий қисми ҳисобланади. Ёқилғи бункер 1 дан ҳаракатланаётган занжирли чўғдон 4 га тушади. У бир - бирига параллел жойлашган узлуксиз иккита занжирдан иборат бўлиб,уларга чўғдонлар маҳкамланган.

Ёқилғи учун зарур ҳаво чўғдон остидан киритилади. Чўғдонни бошланиш қисмида ёқилғи қиздирилади. Қизиган ёқилғи озгина ортиқча ҳаво билан ёнади. Чўғдонни охирида куйган шлак шлак бункери 3 га тўкилади.

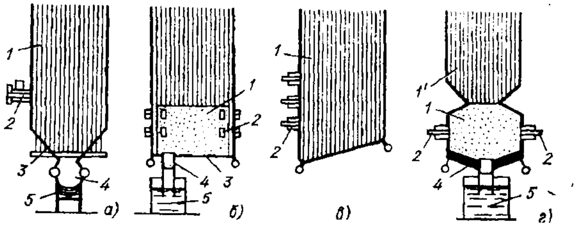
Тескари йўлли занжир - панжарали ўтхоналарда (13.3 - расм, г) тошкўмир ва қўнғир кўмирларни ёқиш мумкин.

Ёқилғини аралаштириш ва кул ҳамда шлакни қисман йўқотиб туриш учун ўтхонага (13.3 - расм, д) тебраниб турадиган чўғдонлар ўрнатилади. Бу чўғдонлар вақти - вақти билан тебраниб, шлакнингораларини бўшатиб уни кулхонага туширади. Чўғдон тебранганда ёқилғи аралашиб ёниш яхшиланади.

Қия чўғдонли ўтхоналар (13.3 - расм, е) буғ унумдорлиги 2,5 - 20 т/соат бўлган қозонларда ёғоч чиқиндиларини ёқиш учун мўлжалланган. Жадал ёнадиган ўтхоналар буғ унумдорлиги 6,5 т/соат гача бўлган қозонларда торфларни ёқиш учун қўлланилади.

Қатламли ўтхоналарнинг асосий камчилиги ёниш юзаси кичиклиги туфайли унинг қувватини чекланганидадир.

Камерали ўтхоналар (машъалали) чангсимон, суюқ ва газ ҳолидаги ёқилғини ёқишга мўлжалланган. Қаттиқ ёқилғи махсус тегирмонларда кукун ҳолига келтирилиб, ҳаво оқими билан биргаликда ўтхонага узатилади. Камерада ёқилғи муаллақ ҳолатда ёнади (13.4-расм). Камерада ёқилғи билан бирга кирадиган ҳаво бирламчи ҳаво дейилади.



13.4 - расм. Камерали (машъалали) ўтхоналар схемаси.
а - қаттиқ шлакли чангсимон ёқилғи ёқиш учун бир камерали ўтхона; б - суюқ шлакли чангсимон ёқилғи ёқиш учун бир камерали ўтхона; в - суюқ ва газ ёқилғиси ёқиш учун ўтхона; г - чангсимон ёқилғи ёқиш учун икки каме-рали ўтхона;

Ёқилғини тўлиқ ёниши учун зарурий ҳавонинг бир қисми камерага қўшимча равишда берилади.

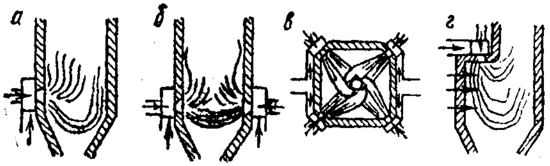
Бу ҳаво иккиламчи ҳаво дейилади. Ўтга чидамли ғиштдан кўтарилган ўтхона камераси 1 га горелкалар 2 орқали ёқилғи ва ҳаво аралашмаси узатилади. Бу ерда аралашма алангаланади ва ёниб тамом бўлиб, юқори температурали машъалани ҳосил қилади. Ўтхонадан чиқишда ёниш маҳсулотлари температураси пасаяди, чунки машъала радиация туфайли иссиқликни жадал равишда иситиш сиртла-рига (қувурлар тўпламига) беради.

Кўмир чангини ёқиш учун мўлжалланган камерали ўтхоналар асосан горелкаларнинг жойланиши ва шлакни чиқариб ташлаш усулига кўра бир-биридан фарқланади. Шлакни чиқариб ташлаш усулига кўра ўтхоналар шлак қуруқ (13.4-расм, д) ва суюқ ҳолда чиқариб юбориладиган ўтхоналарга бўлинади. Шлак қуруқ ҳолда чиқариб юбориладиган ўтхоналарда кўмир чангининг ёнишидан ҳосил бўлган кулнинг 80-85% и тутун газлар билан чиқиб кетади. Қолган 15-20% и шлакка айланади ва ўтхонанинг пастки қисмига шлак воронкаси 3 га тушади. Суюқланган шлак зарралари совуқ воронканинг сиртига тегиб қотади ва шлак шахтасига тўкилади.

Шлак суюқ ҳолда чиқариб ташланадиган ўтхоналарда кулнинг 90% га яқин асосий қисми суюқ шлакка айланади ва шлак ваннасига оқиб тушади.

Суюқ ва газ ҳолидаги ёқилғини ёқишга мўлжалланган камерали ўтхоналардан шлакни чиқариб ташлаш қурилмалари бўлмайди. (13.4-расм,в), шунинг учун унинг ости горизонтал ёки сал-пал қия қилинади.

13.5-расмда камерали ўтхонада горелкаларнинг жойлаштириш схемалари кўрсатилган.



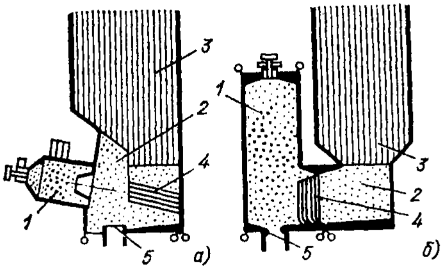
13.5-расм. Горелкаларнинг жойлашиш схемаси.

Ўртача қувватли қозон қурилмалари учун асосан горелкалар ўтхонанинг олд томонига ва қарама-қарши икки томонга (13.5-расм, а,б), йирик қозон қурилмаларида эса бурчагига (13.5-расм,в) жойлаштирилади.

Горелкалар ўтхонанинг шипига (13.5-расм,г) камдан-кам ҳолларда ўрнатилади.

Уюрмали ўтхоналар майдаланган кўмирни ҳамда мазутни ёқиш учун мўлжалланган (13.6 - расм).

Майдаланган кўмир ҳаво билан бирга уюрмали камера 1 га берилади. Камерага яна ён томондан иккиламчи ҳаво берилади, у 100 м/с тезлик билан киради. Камерада ёниш маҳсулотларининг айланувчан оқими ҳосил бўлиб, бу оқим ёқилғининг йирик доналарини камера деворларига отади ва улар бу ерда қизиган ҳаво оқимлари таъсирида газга айланади.



13.6 - расм. Уюрмали ўтхонанинг схемаси.
а - горизонтал уюрмали ўтхона; б - вертикал уюрмали ўтхона.

Уюрмали камерадан ёниш маҳсулотлари ёқилғининг ёниб бўлмаган зарралари билан бирга бутунлай (охиригача) ёниш камераси 2 га, кейин радиацион соҳа 3 га ўтади. Суюқ шлак томчилари шлак тутиб қоладиган тўплам 4 га ёпишиб қолади ва ундан оқиб шлак ваннаси 5 га ўтади.

Уюрмали ўтхоналарнинг афзалликлари қуйидагилардир:

1. Ёқилғининг кам ортиқча ҳаво (1,05-1,1) билан ёниши, бу ҳол иссиқликнинг чиқиб кетаётган газлар билан исроф бўлишини камайтиради;

2. Майдаланган кўмирда (чангсимон кўмир ўрнига) ишлаш мумкин;

3. Ёқилғини кули ўтхонада 80 - 90 % ушлаб қолинади.

Камчиликларига қуйидагилар киради:

1. Намлиги кўп бўлган кўмирларни ва учувчан моддалар кам чиқадиган кўмирларни ёқиш қийин.

2. Пуфлаш учун энергия кўп сарф бўлади.

Ўтхона қурилмаларининг иссиқлик-техникавий кўрсаткичлари.

Ўтхона бўшлиғининг солиштирма иссиқлик кучланиши ўтхона ишини тавсифлайдиган асосий катталик ҳисобланади. Шу катталикка асосан ўтхонани лойиҳалаш ва қуриш масалалари ечилади, ҳамда унинг ишининг самарадорлиги аниқланади. Бу катталик Q/Vў нисбат билан ифодаланади ва 1м3 ўтхона бўшлиғида вақт бирлиги ичида маълум бир миқдорда ёқилғи ёқилганда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг.

$$Q_v = Q/V_ў = Q_қ\,\beta/V_ў\ [Вт/м^3] \qquad (13.1)$$

Бу ерда β-ёқилғининг сарфи, кг/с; Qқи-қуйи ёниш иссиқлиги,кЖ/кг.

Агар Q_v нинг қиймати амалда аниқланган маълум бир қийматдан катта бўлса, у ҳолда ўтхонадаги ёқилғи тўлиқ ёнмайди.

Қозон қурилмаларини ишлатиш тажрибаси шуни кўрсатадики, турли хил ёқилғи, ва ёндириш усуллари ва ўтхона турлари учун Qv нинг қиймати кенг оралиқда ўзгаради. Масалан, қўлда хизмат кўрсатиладиган қатламли ўтхоналар учун Qv=290÷350 кВт/м^3, механизациялашган қатламли ўтхоналар учун Qv=290÷465 кВт/м^3, камерали ўтхоналарда кўмир чанги ёқилганда Qv=145÷230 кВт/м^3, Qv=230÷460 кВт/м^3, қатламли ўтхоналар учун ўтхона ишининг жадаллигини тавсифловчи яна бир катталик чўғдоннинг солиштирма иссиқлик кучланиши киритилади:

$$Q_R = Q/R = Q_қ^{*}\beta/R\left[\beta_T/M^2\right], \qquad (13.2)$$

Бу ерда Q_R-чўғдоннинг тўлиқ юзаси, м^2. Бу катталик, 1 м^2 ёниш юзасида вақт бирлиги ичида маълум бир миқдордаги ёқилғи ёнганда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг.

Q_R катталик ёқилғи турига, унинг бўлаклари катталигига, кул миқдорига ва шу кабиларга боғлиқ бўлади ва кенг оралиқда - 350÷1100 кВт/м^2 ўзгаради.

Назорат учун саволлар

1. Саноат печларининг турлари.
2. Саноат печи қандай ишлайди?
3. Саноат печининг асосий кўрсаткичлари.
4. Ёқилғи сарфи қандай аниқланади?
5. Ўтхона турлари.
6. Ўтхонанинг асосий кўрсаткичлари.
7. Камерали ўтхоналар.
8. Уюрмали ўтхоналар қандай ишлайди?
9. Камерали ўтхоналарнинг қандай афзалликлари бор?
10. Уюрмали ўтхоналарнинг афзалликлари ва камчилиги.
11. Ўтхона қурилмаларининг иссиқлик кўрсаткичлари.

ЎН ТЎРТИНЧИ БОБ

ҚОЗОН ҚУРИЛМАЛАРИ

14.1. Қозон қурилмаси, унинг тузилиши ва ишлаш тартиби

Иссиқ сув ва буғ ишлаб чиқариш учун мўлжалланган иншоот ва қурилмалар мажмуи қозон қурилмаси деб айтилади. Қозон қурилмаси қозон агрегати билан қўшимча қурилмалардан ташкил топади.

Ўтхонада ёқилган ёқилғидан ажралган иссиқлик ҳисобига босим остида иссиқ сув ва буғ ҳосил қиладиган ускуналар мажмуи қозон агрегати дейилади. Қозон агрегати таркибига қуйидагилар киради: ўтхона қурилмаси (горелкалар билан камера); қозон агрегатининг асосий қисмларидан бири бўлган буғ қозони, унда буғ ҳосил бўлади; буғ берилган параметргача қиздириладиган буғ қиздиргич; буғ қозо-нига бериладиган сувни иситиш учун мўлжалланган сув экономайзери ва ёқилғини ёқиш учун ўтхонага бериладиган ҳавони иситувчи ҳаво иситкич.

Қозон қурилмасининг ёрдамчи қурилмалари жумласига мўри, шлак ва кул чиқарадиган қурилмалар, кулни тутиб қолиш қурилмалари, каркас, ички қоплама ва бошқаларни киритиш мумкин.

Қозон қурилмаси ишлаб чиқарган маҳсулот турига кўра буғ қозонлари, сув иситадиган қозонлар ва буғ-сув иситадиган қозонларга бўлинади. Буғ-сув иситадиган қозонларда бир вақтнинг ўзида ёки ҳар хил вақтда буғ ва иссиқ сув ишлаб чиқарилади, лекин бундай турдаги қозонлар кам қўлланилади. Ҳозирги вақтда саноатда қозон-утилизаторлар кенг қўлланилади. Бундай қозонларда иссиқлик манбаи сифатида технологик жараёнларнинг иккиламчи энергия манбалари (масалан, саноат печларининг чиқиб кетаётган газлари), металлургия заводларидан ва домна печларидан чиққан тутун-газ аралашмалари ишлатилади.

Қозон қурилмасининг асосий иш тавсифларига қуйидагилар киради:

1. Буғ унумдорлиги (қозоннинг қуввати), бу вақт бирлигида ҳосил бўлган буғ миқдори билан аниқланади.

2. Буғнинг параметрлари (босим ва ўта қизиш температураси).

3. Қозон агрегатининг Ф.И.К.

Қозон қурилмаларини қуйидаги белгиларига кўра тавсифлаш мумкин:

1. Буғ унумдорлигига кўра:

а) буғ унумдорлиги паст -(0,01-5,5 кг/с);

б) буғ унумдорлиги ўртача-(30 кг/с гача);

в) буғ унумдорлиги юқори -(500-1000 кг/с гача);

2. Буғ босимига кўра:

а) паст босимли -($p=0,8 \div 1,6$ МПа);

б) ўрта босимли - ($p=2,4\div4$ МПа);
в) юқори босимли- ($p=10\div14$ МПа);
г) ўта юқори босимли - ($p=25\div31$ МПа)

3. Ишлатилишига кўра:

а) Энергетик қозон қурилмалари, булар иссиқлик электр станцияларининг буғ турбиналарини буғ билан таъминлайди;

б) Саноат қозон қурилмалари, булар саноат эҳтиёжлари (иссиқлик аппаратлари, иссиқлик алмашинув аппаратлари, машиналарнинг буғ узатмалари ва шу кабилар) учун буғ ишлаб чиқаради;

в) Иситиш қозон қурилмалари, булар маҳаллий қозон қурилмалари бўлиб, қозон қурилмаси яқинида жойлашган биноларни иссиқ сув билан таъминлайди.

г) Иссиқлик-энергетик қурилмалар, буларда иссиқликнинг асосий қисми электр энергияси олишга сарфланади, камроқ қисми иситиш ва турли - туман технологик жараёнларни бажариш учун юборилади.

Сув иситадиган қозонларнинг иссиқлик унумдорлиги $4\div180$ Гкал/соат бўлиши мумкин. Иссиқлик унумдорлиги 30 Гкал/соат бўлган қозонларда, сувнинг қозондан чиқишидаги температураси 423 К, сувнинг қозонга киришидаги босими 1,6 МПа бўлади. Иссиқлик унумдорлиги 30 Гкал/соат ва ундан юқори бўлган қозонларда, чиқ-ишдаги энг юқори температура 450-470 К, сувнинг киришдаги босими 2,5 МПа бўлади.

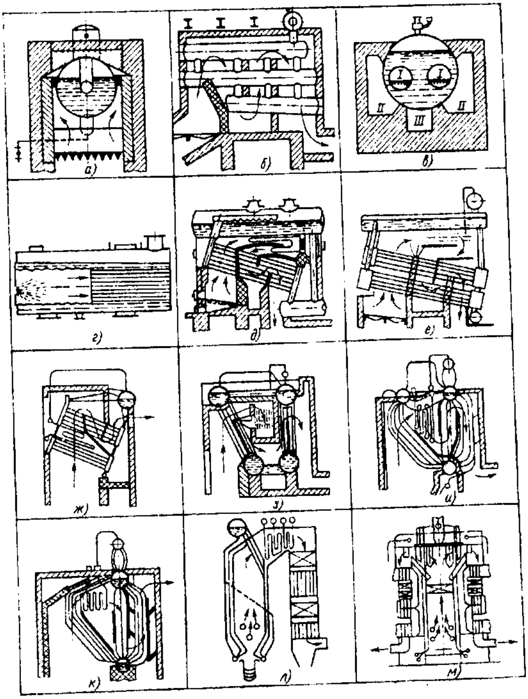
Қозон агрегатлари 14.1-расмда кўрсатилган кетма-кетликда такомиллашиб борди. Такомиллаштиришдан асосий мақсад метал сар-фини камайтириш, қозоннинг тежамлилигини ва буғ унумдорлигини ошириш, ҳамда параметрлари янада ҳам юқорироқ бўлган буғ олиш-дир.

Ҳозирги катта қувватли қозонларнинг бошланғич схемаси 14.1-расм (а,б) да келтирилган цилиндр шаклидаги оддий қозон эди.

XIX асрнинг ўрталарида цилиндрсимон ва ўтқувурли қозонлардан (в) сув-қувурли (в-м) қозонларга ўтилди. Қозонларни такомиллаштириш икки йўналишда борди: биринчидан газ-қувурли, иккинчидан сувқувурли қозонлар яратилди.

Натижада қувурларнинг диаметрини камайтирган ҳолда иситиш сиртини катталаштиришга эришилди, чунки газларга қараганда сувга иссиқлик бериш юқори бўлади, бу эса металлни тежаш ва унумдорликни кўтариш имконини берди.

Камерали горизонтал сув-қувурли қозонларда (д,е) қайнатиш қувурлар тўплами ўзининг учлари билан ясси камераларга уланар эди. Булар анкер болтлари кўплиги туфайли мураккаб бўлиб, буғ босимини 12-15 бар дан юқори кўтаришга имкон бўлмади.



14.1-расм. Табиий циркуляцияли қозонларнинг такомиллашиб бориши:
а - цилиндрсимон; б-батареяли; в-ўт қувурли; г-ўт ва тутун қувурли; д,е-камерали горизонтал-сув қувурли; ж-бўлимли горизонтал-сув қувурли; з-қайнатиш қувурлари тўғри бўлган; и,к-қайнатиш қувурлари эгилган; л- П-симон бир барабанли қозон; м- Т-симон замонавий барабанли қозон агрегати.

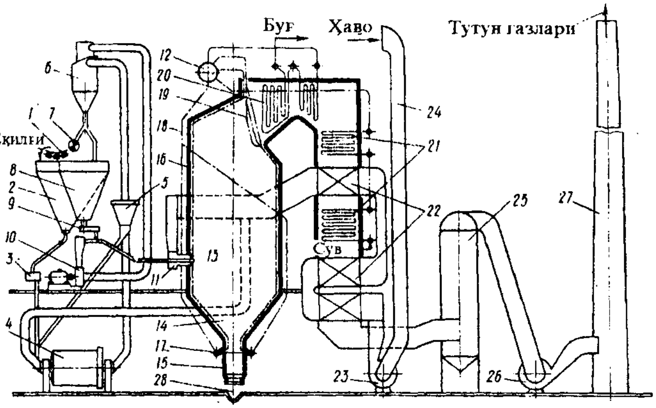
Бу камчиликлар горизонтал сув-қувурли қозонларда сезиларли даражада бартараф этилди. Буларда ясси камералар ўрнига цилиндр-симон қопқоқлар қўлланилди, уларга тўғри қувурлар тўплами уланди, қувурлар икки тўплам ҳолида горизонтал равишда барабанга (ж) бир-лашди.

Шу туфайли буғнинг босими ортди, қувурларнинг сони ва узунлиги ортиши эса, қозоннинг унумдорлигини ошириш имконини яратди. Барабанлар аввало узунасига, кейинроқ кўндалангига жой-лаштирилди. Сув экономайзерлари ва ҳаво иситкичларни қўллаш на-тижасида қозонларнинг тежамлилиги ва унумдорлиги ортди.

Горизонтал сув-қувурли қозонлар ўз вақтида газ қувурли қо-зонларга нисбатан катта афзалликларга эга эди, лекин уларнинг ҳо-зирги вер-

тикал сув-қувурли қозонларга қараганда муҳим камчиликла-ри бор. Аввало, бир неча барабаннинг бўлиши металл сарфини оши-риб юборади, қиммат турадиган туташтириш камералари эса, қозон нархини ортишига сабаб бўлди.

Шунинг учун уларни вертикал сув-қувурли қозонлар сиқиб чиқарди ва ҳозирги пайтда горизонтал сув-қувурли қозонлар ишлаб чиқарилмайди. Вертикал сув-қувурли қозонлар дастлаб қозоннинг энг қиммат қисмининг-барабанларнинг сони кўп қилиб қурилар (з,и) эди.



14.2-расм. Қозон қурилмасининг технологик схемаси.
1 - транспортер; 2 - нам кўмир бункери; 3 - нам кўмир тақсимлагич; 4- кўмир майдалайдиган тегирмон; 5 - сепаратор; 6 - циклон; 7 - чанг винти; 8 - кўмир чанги бункери; 9 - кўмир чанги таъминлагичи; 10 - тегирмон венти-лятори; 11 - горелкалар; 12 - барабан; 13 - ўтхона; 14 - совуқ воронка; 15 - шлак йиғгич; 16 - ўтхона экранлари (кўтариш қувурлари); 17 - экран кол-лекторлари; 18 - тушириш қувурлари; 19 - фестон; 20 - буғ қиздиргич; 21 - сув экономайзери; 22 - ҳаво қутиси; 23 - пуфлаш вентилятори; 24 - ҳаво тортиш қутиси; 25 - газ тозалаш қурилмаси; 26 - сўриш вентилятори; 27 - тутун қувури -мўри; 28 - кул-шлак чиқариш канали.

Вертикал сув-қувурли қозонларнинг кейинги такомиллашуви натижасида барабанларнинг сони биттага келтирилди (к,л,м), қайна-тиш қувурларининг тўплами бевосита барабан буғ йиғгичга туташти-рилди.

Шундай қилиб, барабанлар сонининг камайиши билан бир вақтда қозон исиш сиртининг конвектив қисми қисқарди ва ўтхонада экранлар тарзида жойлашган радиацион қисми кўпайди.

Замонавий буғ қозон қурилмаси (14.2-расм) қозон агрегатидан ва ёрдамчи қурилмалардан (кўмирни майдалаш ва чанг тайёрлаш, ёқилғи ва

сувни узатиш, ҳавони ва ёқилғи маҳсулотларини тортиш ва пуфлаш, назорат-ўлчов асбоблари, автоматик бошқариш асбоблари) ташкил топган.

Қозон деворларининг ўта қизиб кетиши уларнинг бузилиш хавфини туғдиради. Бунинг олдини олиш учун қозоннинг қизиган сиртларидан иссиқликни тез олиб туриш керак. Бунинг учун иситиш сиртлари бўйлаб сув ва сув-буғ аралашмасининг ҳаракатини тегишли тарзда ташкил этиш лозим.

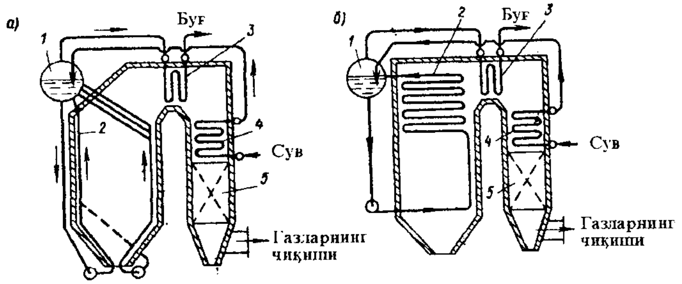
Сув ва сув-буғ аралашмасининг иситиш сиртлари бўйлаб ҳаракатланиш тавсифига кўра қозон агрегатлари уч турга бўлинади:

1) табиий циркуляцияли;

2) мажбурий циркуляцияли;

3) тўғри оқимли.

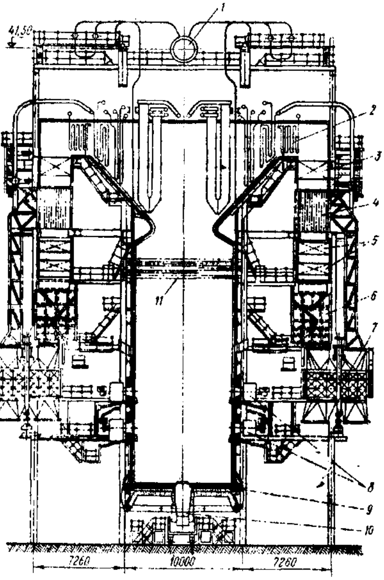
14.3-расмда сув қувурли қозонларнинг циркуляцион схемаси келтирилган.



14.3-расм. Қозон схемалари.
а - табиий циркуляцияли; б - мажбурий циркуляцияли; 1 - барабан; 2 - иситиш сиртлари; 3 - буғ қиздиргич; 4 - экономайзер; 5 - ҳаво иситкич.

Табиий циркуляцияли буғ қозонларида сув ёпиқ циркуляцияли контурда (14.3-расм, а): "барабан - тушириш қувури - пастки коллектор - кўтариш қувури - барабан" да ҳаракат қилади.

Бундай қозонларда сувнинг ва сув - буғ аралашмасининг ҳаракатланиши уларнинг зичликлари орасидаги фарққа асосланиб амалга оширилади. Мажбурий циркуляцияли қозонларда сув билан сув-буғ аралашмаси циркуляцион насос ёрдамида ҳаракатлантирилади.



14.4-расм. Табиий циркуляцияли ТП-100 қозон агрегати.
1- барабан; 2- буғ қиздиргичнинг конвектив қисми; 3- иккиламчи буғ қиздир-гич; 4- қувурли ҳаво иситкич; 5- экономайзер; 6- газ йўллари; 7- регенератив ҳаво иситкич; 8- кўмир чангини ёқиш горелкаси; 9- ўтхонанинг тирқишли таги; 10- сув ваннаси ва шлак транспортери; 11- буғ қиздиргичнинг радиацион қисми.

Замонавий қозон агрегатлари асосан табиий ёки суюқ газда, мазутда, чангсимон кўмирда ишлайди. Замонавий қозон агрегатлари-нинг ишлаб чиқарадиган буғининг сарфи 400-450 т/соат, босими 2,5 МПа гача, температураси 700-850 К га етади. Қурилиши жиҳатидан замонавий қозон агрегатларига кам металл сарфланган, бошқариш етарли даражада механизациялаштирилган ва автоматлаштирилган, экологик нуқтаи назардан атроф муҳитга ўта заҳарли газларни камроқ чиқаради. Бунга 14.4-расмда келтирилган юқори қувватли, қаттиқ ёқилғида ишлайдиган табиий циркуляцияли ТП-100 маркали (Таганрог заводи, Россия) қозон агрегати мисол бўла олади. Бундай қозоннинг буғ унумдорлиги 640 т/соат, буғнинг босими 14 МПа ва температураси 570°С, қайноқ ҳаво температураси 403°С, чиқиб кетаётган газлар температураси 128°С, Ф.И.К. 90,2%.

Ҳозирги вақтда қозон агрегатларини йиғишни арзонлаштириш ва тезлаштириш мақсадида унинг қисмлари тайёр блоклар тарзида тайёрланмоқда. Масалан, унумдорлиги паст ва ўртача (2,5 дан 15 кг/с гача)

бўлган СУ ва СА турдаги (Белгород заводи, Россия) қозонлар олти блокдан ташкил топган. Блоклар йиғиш майдонига осон ташиб келтирилади ва у ерда қозон агрегати тезда йиғилади.

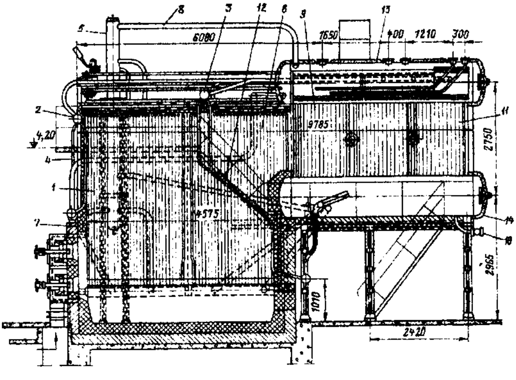
Одатда, бундай қозон агрегатлари бир ёки икки барабанли қилиб тайёрланади. Унумдорлиги паст бўлган қозонларга ДКВР (Бийск қозон заводи, Россия) маркали қозонлар мисол бўлади. Бу барабанлари узунасига жойлашган ва конвектив қувурлар тўплами зич жойлашган икки барабанли вертикал сув-қувурли қозон агрегатидир (14.5-расм).

Қозонда ўтхона деворларини экран қувурлари 1 беркитади. Орқа экраннинг қия қисмида шахматли пардадевор 12 ўрнатилган. Пардадевор ўтхона камерасини икки қисмга бўлади: ўтхона ва ёниб бўлиш камераси 6. Ёниб бўлиш камерасидан чиққан ўтхона газлари юқори 12 ва пастки 14 барабанлар ўртасида жойлашган конвектив қувурлар тўпламини ювиб ўтади.

Тўпламнинг бошланишида буғ қиздиргич қувурлари 9, кейинроқ эса қозон қувурлар тўплами 11 жойлашади. Коллекторлар 2,3 га буғ - сув аралашмаси келади. Аралашмадан ажратилган сув циркуляцион қувурлар 4 бўйлаб пастки коллекторларга тушади, сув томчилари кўп бўлган буғ эса, буғ олиб кетадиган қувурлар орқали иккита вертикал циклон 5 га юборилади.

Циклонда ажралган сув, сув узатиш қувурлари 7 бўйлаб экранларнинг пастки коллекторларига тушади. Циклондан чиққан буғ, қувурлар 8 бўйлаб барабан 9 ичидаги ажратиш қурилмасига юборилади, у ердан эса қозоннинг буғ қиздиргичига ёки бирданига истеъмолчига (агар қозонда буғ қиздиргич бўлмаса) юборилади.

Таъминот суви клапанлар 10 орқали қозонга келади. Қозонлар, масалан, ДКВР-20-1,4-523 туридаги, қуйидагича белгиланади: биринчи сон - буғ унумдорлиги (т/соатда), иккинчи - буғ босими (МПа да), учинчи - буғ температураси (К да).



14.5-расм. Газ-мазутда ишлайдиган ДКВР -20-13-250 қозон агрегати.

Агар белгиланда учинчи сон бўлмаса, демак қозон тўйинган буғ ишлаб чиқаради.

ДКВР қозон агрегатларининг асосий кўрсаткичлари.

14.1-жадвал.

Қозон тури	Буғ унумдорлиги, кг/с/т/соат	Қозондан чиқишдаги буғ босими, МПа	Буғ температураси К	Қозоннинг иситиш юзаси, м²			Буғ қиздиргич иситиш юзаси, м²
				Радиацион	Конвектив	Умумий	
ДКВР-2,5-1,4	0,695/2,5	1,4	Тўйинган*	17,7	72,6	91,3	-
ДКВР-4-1,4-523	1,1/4	1,4	523	21,4	107,6	129	8,5
ДКВР-6,5-1,4	1,8/6,5	1,4	Тўйинган	27,9	197,4	225,3	-
ДКВР-10-2,4-643	2,78/10	1,4/2,4	643	47,9	207,5	255,4	17
ДКВР-20-1,4-523	5,56/20	1,4/2,4	523	73,5	285	358,5	34
ДКВР-35-1,4	9,75/35	1,4	Тўйинган	86,1	437,4	523,5	-

*Тўйиниш температураси.

ДКВР тарзидаги қозон агрегатлари буғ қиздиргич билан ёки буғ қиздиргичсиз ишлаб чиқарилади. Бу қозонларнинг асосий кўрсаткичлари 14.1-жадвалда келтирилган.

ДКВР туридаги қозон агрегатлар саноат иссиқлик энергетикасида ва иссиқлик таъминоти тузилмаларида кенг қўлланилмоқда. Бундай қозонларда барча турдаги ёқилғини ёқиш мумкин. Шу сабабли қозонларнинг ўтхоналари турлича бўлиши мумкин, Ф.И.К. эса, 75 дан 91% гача бўлади.

ДКВР қозон агрегатларини сув-иситиш қозонлари сифатида ишлатиш мумкин. Бунинг учун қозон устига буғ-сув иситкичи ўрнатилади ва қозоннинг циркуляция схемасига уланади. Буғ тармоқ сувини иситиб конденсацияланади, конденсат эса, иситкичдан пастки барабанга ўзи оқиб тушади.

Ҳозирги вақтда ДКВР туридаги қозонлар паст босимли КЕ, ДЕ, Е-ГМН каби буғ қозон агрегатлари билан астасекин алмаштирилмоқда. Булар икки барабанли, вертикал сув-қувурли қозонлар бўлиб, уларнинг конвектив қувурлар тўплами букилган қувурлардан ташкил топган.

Қозон қопламасининг вазни камайтирилган, қайнатиш қувурлар тўплами зич жойлашган, ёниш юзасининг иссиқлик кучланиши ва ўтхона бўшлиғининг солиштирма иссиқлик кучланиши юқори.

Буғ қозон агрегатларининг асосий кўрсаткичлари.

14.2-жадвал.

Қозон агрегати тури	Буғ унумдорлиги, т/соат	Буғ босими, МПа	Буғ тури
КЕ-2,5-14С*	2,5	1,4	Тўйинган буғ
КЕ-10-14С	10	1,4	Тўйинган буғ
КЕ-10-14-225С	10	1,4	t=225°С ли ўта қизиган буғ.
КЕ-25-24-250С	25	2,4	t=250°С ли ўта қизиган буғ.
ДЕ-4-14 ГМ	4	1,4	Тўйинган буғ
ДЕ-25-14-ГМ	25	1,4	Тўйинган буғ
ДЕ-16-14-225ГМ	16	1,4	t=225°С ли ўта қизиган буғ.
ДЕ-25-24 ГМ	25	2,4	Тўйинган буғ
Е-4-14 ГМН	4	1,4	Тўйинган буғ
Е-10-14 ГМН	10	1,4	Тўйинган буғ
Е-10-14 225 ГМН	10	1,4	t=225°С ли ўта қизиган буғ.
Е-25-14 ГМН	25	1,4	t=225°С ли ўта қизиган буғ.

* Сериялаб ишлаб чиқарилади.

Бунинг натижасида янги қозон агрегатларининг буғ унумдорлиги ортди. Масалан, КЕ-4 (Д=4 т/соат) қозон агрегатининг ўтхона камераси ўлчамлари ДКВР-2,5 (Д=2,5 т/соат) қозон агрегати каби; КЕ-6,5 (Д=6,5 т/соат) ва КЕ-10 (Д=10 т/соат) қозон агрегатлари ўтхона камераси ўлчамлари мос равишда ДКВР-4 (Д=4 т/соат) ва ДКВР-6,5 (Д=6,5 т/соат) қозон агрегати ўлчамлари каби. КЕ,ДЕ, Е-ГМН сериядаги қозонларнинг асосий кўрсаткичлари 14.2-жадвалда келтирилган.

14.2. Тўғри оқимли қозонлар

Табиий ёки мажбурий циркуляцияли сув-қувурли қозонларда энг камида битта барабан бўлиши керак. Барабанда сув буғдан ажралади ва унда қозоннинг барча циркуляцион контурлари туташади. Энергетик қозонларда ишчи босимнинг ошиши барабан деворининг қалинлигини орттиришга (0,1 м гача) сабаб бўлди.

Бунинг натижасида барабанни тайёрлаш жараёни мураккаблашди ва унинг нархи ошиб кетди. Босимнинг ортиши натижасида қозон контуридаги циркуляция анча қийинлашади, чунки босим ортиши билан буғнинг зичлиги сувнинг зичлигига яқинлашади, критик нуқтада эса тенглашади.

Шунинг учун критик босимга яқин ва ундан юқори босимларда албатта мажбурий циркуляцияни қўллаш лозим. Юқорида кўрсатилган

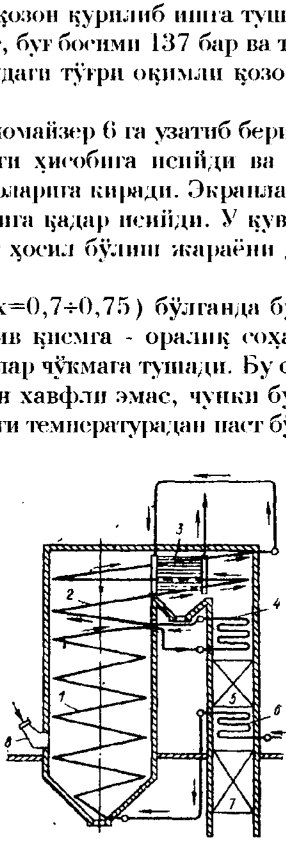
вазият барабансиз қозонларни-тўғри оқимли қозонларни яратишга асосий сабаб бўлди. Агар табиий циркуляцияли қозонларда сувнинг мажбурий ҳаракатланиши фақат сувнинг сув экономайзерларидагина бўлса, тўғри оқимли қозонларда қозонга сув келишидан тортиб, ўта қизиган буғ олинишигача бўлган жараён мажбурий равишда ва бир марта амалга оширилади. Сув, буғ-сув аралашмаси ва буғ таъминлаш насоси ёрдамида ҳайдалади.

XX асрнинг 30-йилларида проф. Л. К. Рамзин тўғри оқимли қозоннинг ўзига хос лойиҳасини яратди ва бу қозон қурилиб ишга туширилди. Бу қозоннинг буғ унумдорлиги 55 кг/с, буғ босими 137 бар ва температураси 500°С эди. Л. К. Рамзин тизимидаги тўғри оқимли қозоннинг схемаси 14.6-расмда келтирилган.

Таъминлаш суви насос ёрдамида экономайзер 6 га узатиб берилади, бу ерда у кираётган газларнинг иссиқлиги ҳисобига исийди ва қозон агрегати радиацион қисмининг экран қувурларига киради. Экранларнинг пастки қисмида сув қайнаш температурасига қадар исийди. У қувурлар бўйлаб юқорига томон силжиган сари буғ ҳосил бўлиш жараёни давом этади.

Таркибидаги буғ миқдори 70-75% ($x=0,7 \div 0,75$) бўлганда буғ-сув аралашмаси радиацион қисмдан конвектив қисмга - оралиқ соҳа 4 га ўтади. Бу ерда сув охиригача буғланиб, тузлар чўкмага тушади. Бу соҳада газларнинг чўкиши радиацион соҳадагидан хавфли эмас, чунки бу ерда газларнинг температураси қозон ўтхонасидаги температурадан паст бўлади. Шунинг учун қуйқа қатламнинг ҳосил бўлиши қувурларнинг хавфли даражада ўта қизиб кетишига сабаб бўла олмайди.

Буғ оралиқ соҳа 4 дан буғ қиздиргичнинг конвектив қисми 3 га ва ниҳоят истеъмолчига берилади. Қозон агрегатининг конвектив шахтасида ҳаво иситкич 5,7 нинг икки босқичи жойлашади. Тўғри оқимли қозоннинг барабанли қозонга нисбатан афзалликлари шундаки, унда юқори ва ўта юқори параметрли буғ олиш мумкин (1900 т/соат гача), қозонни тез ишга тушириш мумкин (≈1 соат) ва портлаш хавфи нисбатан кам.



14.6-расм. Тўғри оқимли қозон агрегатининг схемаси.

1-радиацион қисм; 2-радиацион буғ қиздиргич; 3-буғ қиздиргичнинг конвектив қисми; 4-оралиқ соҳа; 5,7-ҳаво иситкичининг биринчи ва иккинчи босқичи; 6-экономайзер; 8-горелка.

Тўғри оқимли қозонларнинг асосий камчиликлари қуйидагилардан иборат:

а) таъминлаш сувининг сифати-

га катта талаб қўйилади. Сув-нинг таркибида тузлар бўлмаслиги лозим, акс ҳолда қасмоқ тўпланиб қувурни куйишига сабаб бўлади. Шунинг учун қозон ўтириб қолган қасмоқдан тозаланиб турилади;

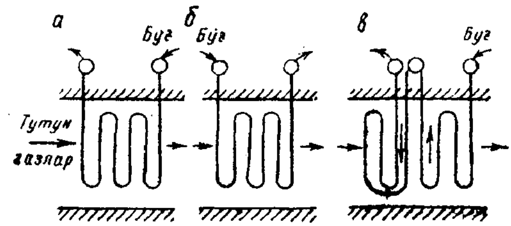
б) иссиқликни тўплаш хусусияти кичик. Тўғри оқимли қозонларда сув захираси йўқ. Шунинг учун ўтхона ишини ва таъминлаш сувини узатишини бир-бирига мослаш керак, бу одатда,анча қийинчилик туғдиради;

в) қозоннинг ғидравлик қаршилиги катта ва демак таъминлаш насосларига электр энергияси кўп сарф бўлади.

Ҳозирги пайтда буғнинг параметрлари критик параметрлардан юқори (25,5 МПа; 843 К), буғ унумдорлиги 254 кг/с (300 МВт), 455 кг/с (500 МВт) ва 695 кг/с (800 МВт) бўлган тўғри оқимли қозонлар кенг қўлланилмоқда.

14.3. Қозон агрегатининг асосий иссиқлик узатиш сиртлари

Буғ қиздиргичлар. Буғ қиздиргичлар буғни қуритиш ва уни берилган температурагача қиздириш учун мўлжалланган. Қозон агрегатида жойлашувига кўра буғ қиздиргичлар радиацион, конвектив ва аралаш хилларига бўлинади. Буғ қиздиргич 30-40 мм ли қувурлардан тайёрланиб, коллекторларга пайвандланган параллел ишлайдиган бир қанча букилган қувурлардан иборат. Улар горизонтал ёки кўпинча вертикал жойлаштирилади. Буғ ва тутун газлари оқимларининг йўналишига қараб буғ қиздиргичлар қарши оқимли, тўғри оқимли ва комбинациялашган хилларга бўлинади (14.7-расм).



14.7-расм. Вертикал-конвектив буғ қиздиргичлар схемаси.

Қарши оқимли буғ қиздиргичларда (14.7-расм, а) буғ қувурларининг биринчи (буғ йўли бўйлаб) ўрамига кириб қизий бошлайди. У охирги ўрамларда деярли охирги қизиш температурасигача қизийди. Бу вақтда қувурларнинг ташқи сирти тутун газларининг энг қайноқ оқимлари билан ювилиб туради. Шундай қилиб қарши оқимли буғ қиздиргичнинг иссиш сиртидан энг кўп даражада фойдаланилади. Тўғри оқимли буғ қиздиргичларда (14.7-расм, б) қувурларнинг биринчи ўрамлари (буғнинг йўли бўйлаб) энг иссиқ тутун газлари билан ювилади. Бунда тутун газла-

рининг температураси аста секин пасаяди, буғнинг температураси эса кўтарилади. Буниңг натижасида газ билан буғнинг температураси дастлаб бир-биридан катта фарқ қилади. Охи-рида эса бу фарқ жуда кичик бўлади. Агар бунда буғ қиздиргичқа нам буғ кирадиган бўлса, у ҳолда намлик буғланганда буғ таркибидаги тузлар қувурларининг газлар жуда кучли қиздирадиган қисмларига ўтириб қолади, бу буғ қиздиргич қувурларининг ортиқча қизиб кети-шига олиб келади.

Комбинациялашган буғ қиздиргичлар ҳозир энг кўп қўлланилиб келинмоқда. Бундай буғ қиздиргичларининг бир қисми қозон агрегатининг радиацион қисмида, қолган қисми конвектив қисмида жойлашган. Радиацион қисм ўтхонанинг жадал ёниш соҳасининг юқори қисмига жойлаштирилади ва иссиқликни нурланиш ва конвекция туфайли ўзига олади (14.8-расм)

. Паст ва ўрта босимли қозон агрегатларида асосан конвектив буғ қиздиргичлар қўлланилади. Буғ қиздиргич қувурлари оғир иссиқлик шароитида ишлайди. Шунинг учун қувурларни буғ билан совутиб туриш энг асосий вазифа ҳисобланади. Буғ қиздиргич қувурларини совутиш ишончлилигини кўрсатувчи катталик - буғнинг массавий тезлиги r.w дир. Иссиқлик жадал қабул қилинадиган соҳада буғнинг массавий тезлиги 700-1100 кг/(м^2.с), конвектив буғ қиздиргичларда rw = 250-600 кг/(м^2.с) бўлиши керак.

14.8-расм. Радиацион - конвектив буғ қиздиргич:
1-барабан; 2-деворга ўрнатилган радиацион буғ қиздиргич; 3- пардасимон радиацион буғ қиздиргич; 4- шифтга ўрнатилган радиацион буғ қиздиргич; 5- конвектив буғ қиздиргич; 6- ўта қизиган буғ олиб келадиган қувур.

Буғ қиздиргич қувурлари легирланган пўлатлардан тайёрланади. Ўта қизиган буғ температураси 500 °С гача бўлса, 10 ва 20 маркали пўлатлар ишлатилади; 500 дан 600 °С гача тенератураларда 12Х1МФ маркали пўлат ва 600 °С дан юқори температураларда 12Х2МСФ Р* маркали пўлат ишлатилади.

Буғнинг қувурлардаги ўртача тезлиги 20 - 25 м/с бўлади. Тезлик ортган сари гидравлик қаршиликлар ҳам ортади, кичик тезликларда эса, совитиш ёмонлашади. Шунинг учун қувурларни совитиш учун энг мақбул тезликлар аниқланади.

Сув экономайзерлари. Сув экономайзерлари таъминлаш сувини қозон агрегатининг буғлатгич қисмига киргунга қадар иситиш учун мўлжаллан-ган. Экономайзерларда таъминлаш суви ўтхонадан чиқаётган тутун газлари ҳисобига исийди.

Экономайзерлар тайёрланган материал турига қараб пўлатли ва чўянли, сиртнинг шаклига қараб қовурғасимон ва силлиқ қувурли, сувни

иситиш даражасига қараб қайнайдиган ва қайнамайдиган экономайзерларга бўлинади.

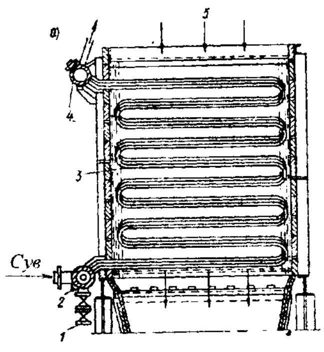
Чўян экономайзерлар одатда, иссиқлик узатишни орттириш мақсадида қовирғаланган қувурлардан тайёрланади. Бундай экономайзерлар босими 2,3 МПа бўлган паст ва ўрта қувватли қозон агрегатларида қўлланилади. Чўяннинг механик мустаҳкамлиги кичиклиги туфайли бундай экономайзерларни яна ҳам юқори босимларда қўллаш мумкин эмас.

Чўян экономайзерлар қайнамайдиган экономайзерлар қаторига киради. Уларда сув қайнаш температурасидан 20 - 40 К паст температурасигача исийди. Иситиш пайтидаги сувнинг қувурдаги тезлиги 0,5 - 1 м/с бўлади. Ювиб ўтаётган газларнинг тезлиги қаттиқ ёқилғи ёқилганда 7 - 10 м/ с атрофида, газ ва мазут ёқилганда 6 - 8 м/с атрофида бўлиши мумкин. Бундай тезликларда сиртнинг аэродинамик қаршилиги йўл қўйилиши мумкин бўлган чегарада бўлади.

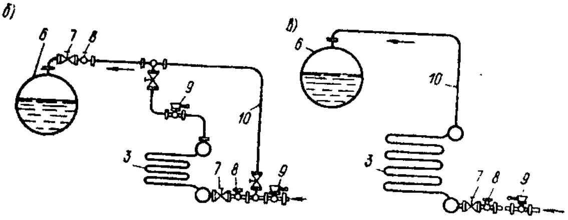
Пўлат экономайзерлар босими 2,3 МПа дан юқори бўлган қозон агрегатларида ишлатилади. Улар диаметри 28 - 42 мм ли қувурлардан горизонтал-букилган қувурлар тарзида тайёрланади (14.9-расм).

Пўлат экономайзерларнинг қайнайдиган хили ҳам, қайнамайдиган хили ҳам бўлади. Қайнамайдиган экономайзерларда сув қайнаш температурасидан 40-50 К паст температурагача исийди. Қувурларда сувнинг тезлиги 0,3-0,5 м/с атрофида бўлади. Унумдорлиги юқори бўлган барабанли қозон агрегатларида асосан пўлатли қайнайдиган экономайзерлар ишлатилади.

Ҳаво иситгичлари. Ҳаво иситгичлар ёқилғини ёқиш учун ўтхонага юбориладиган ҳавони иситишга мўлжалланган. Ҳаво тутун газлари ҳисобига исийди. Ўтхонага юборилаётган иссиқ ҳаво ёқилғи ёниш шароитини яхшилайди, кимёвий ва механик тўла ёнмасликдан келиб чиқадиган исрофларни камайтиради, ёниш температурасини орттира-ди, иссиқлик алмашувини жадаллаштиради, натижада қурилманинг Ф.И.К. ортади. Чиқиб кетаётган газларнинг температураси 20-25 К га пасайса, қурилманинг Ф.И.К. 1% га ортади.



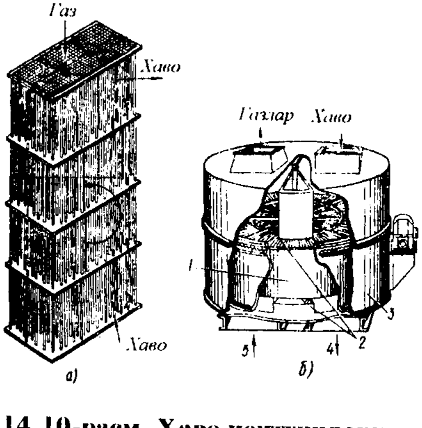
14.9-расм. Пўлатли экономайзер.
а - умумий кўриниш; б,в - мос равишда қайнамайдиган ва қайнайдиган экономайзерларнинг улаш схемаси; 1,7 - тушириш ва беркитиш жўмраги; 2 - киритиш коллектори; 3 - экономайзер қувурлари; 4- иситилган сувни киритиш коллектори; 5- газларни киритиш; 6- қозон барабани; 8,9 - таъминлаш ва сақлаш клапанлари; 10 - сув билан таъминловчи айланма қувур.



Ҳавони иситиш температураси ёқилғи турига ва ёндириш усулига қараб танланади. Қаттиқ ёқилғини қатламли ёқишда бу температура намликка ва учувчан моддаларни чиқишига боғлиқ бўлади. Намлик ва учувчан моддалар чиқиши камайиши билан ёнаётган қатлам температураси ортади. Шунинг учун суюқ шлакни ҳосил бўлишини олдини олиш ва ўтхонани мўътадил ишлашини таъминлаш мақсадида қўнғир ва тош кўмирлар ёқилганда ҳаво 520К гача иситилиши керак.

Бундай кўмирлар манғала усулида ёндирилганда ҳаво 523-573 К гача иситилади, газ ва мазут ёқилганда ҳам ҳаво 523-573К атрофида иситилади.

Ҳаво иситгичлар рекуператив ва регенератив бўлади (14.10- расм). Диаметри 25-50 мм ли пўлат қувурлардан тайёрланган қувурли рекуператив ҳаво иситгичлар кенг тарқалган ҳаво иситгичларидир (14.10-расм; а).



14.10-расм. Ҳаво иситгичлари.
а - рекуператив ҳаво иситгич; б - регенератив ҳаво иситгич; 1 -ротор; 2 - пўлат тунука; 3 - ғилоф; 4- ҳаво қутиси; 5- газ қутиси.

Тутун газлари ҳаво иситгичнинг вертикал ўрнатилган қувурлари ичида юқоридан пастга томон ҳаракат қилади. Ҳаво кириш қутисига

горизонтал йўналишда киради ва қувурларнинг ташқи деворини ювиб ўтиб, исийди; сўнгра чиқиш қутисидан ўтхонага киради.

Ҳаво тезлигини газ тезлигига нисбати тахминан 0,5 га тенг қилиб олинса, энг юқори иссиқлик бериш коэффициентига эришилади (15 - 20 Вт/м2·К). Регенератив ҳаво иситгичлари асосан йирик энергетик қозон агрегатларида қўлланилади (14.10-расм, б). Айланувчан ротор алоҳида қисмларга бўлиниб, улар иссиқликни йиға оладиган метал тунукалар билан тўлдирилади. Айланиш жараёнида насадка дастлаб, чиқиб кетаётган газлар билан, сўнгра иситиладиган ҳаво билан ювилиб турилади. Бунда иссиқлик тутун газларидан совуқ ҳавога узатилади.

14.4. Қозон қурилмасининг ёрдамчи усқуналари. Тортиш - пуфлаш қурилмалари

Қозон агрегатини бир меъёрда ишлашини таъминлаш мақсадида ёқилғи ёниши учун зарур бўлган ҳавони узлуксиз узатиб туриш ва ёниш маҳсулотларини муттасил чиқариб туриш керак.

Ўтхонага, чанг тайёрлаш тизимига ва қозон агрегатининг бошқа қисмларига ҳаво ва газ бериш учун ишлатиладиган вентиляторларнинг барча турлари пуфлаш қурилмалари жумласига киради. Қозон агрегатларининг ростлаш сурма клапанлари бор газ йўллари, тутун мўриси ва сунъий равишда тортадиган тутун тортгичлар тортиш қурилмалари ҳисобланади.

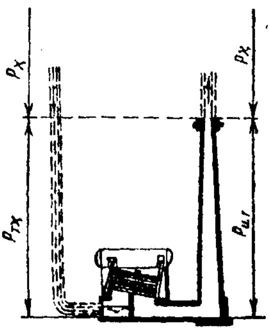
Табиий тортиш мўридаги қизиган тутун газларининг зичлиги совуқ атмосфера ҳавосининг зичлигидан фарқ қилинишига асосланган. Қозон қурилмасини бир томони қизиган газ, иккинчи томони эса совуқ ҳаво билан тўлган туташ идиш сифатида қараш мумкин (14.11-расм).

Мўри ҳосил қилаётган максимал тортиш, босим йўқотишларидан 20 % катта бўлиши керак.

Маълумки, газларнинг газ йўллари бўйлаб ҳаракатида ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликлар натижасида босим йўқотишлари содир бўлади. Қозон агрегатининг босим йўқотишлари аэродинамик қоидалар бўйича аниқланади.

Тутун мўрилари ғиштли, темир-бетонли ва пўлатли бўлади. 80 метр баландликкача, асосан ғиштли мўрилар кенг қўлланилади, чунки улар арзон ва бетонли мўриларга нисбатан температура ўзгаришларига чидамлироқ ва пўлатли мўриларга қараганда олтингугурт газлари зарарли таъсир этмайди.

Мўри баландлиги санитария техникаси талабларига жавоб бериши керак яъни тутун газлари атмосферада маълум бир радиусда тарқалиши лозим. Табиий тортишни вужудга келтириш учун мўри баландлигини узайтириш ёки чиқиб кетаётган газлар температурасини кўтариш лозим.



14.11-расм. Табиий торитиш мўрисининг ишлаш схемаси

Лекин мўри баландлиги унинг нархи ва мустаҳкамлиги билан, газларнинг температураси эса қозон қурилмасининг энг мақбул Ф.И.К. билан чегараланган. Шунинг учун ҳозирги замонавий қозон қурилмаларида сунъий тортиш вужудга келтирилган. Тутун мўриси олдига тутун тортгич (тортиш вентилятори) ўрнатилади, у қозон агре-гатлари қиздирган газларини сўриб олиб, мўри орқали атмосферага чиқариб юборади.

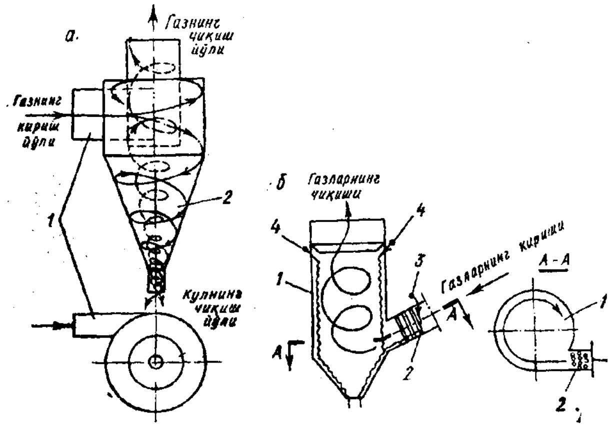
Тутун газларини тозалаш ва кул ҳамда шлакни чиқарувчи қурилмалар.

Қатламли ўтхоналарда ёқилғи ёнгандан кейин ҳосил бўладиган кулнинг 70-80 % и ўтхона чўғдони ва шлак бункерида қолади, 20-30% эса тутун газлари билан бирга атмосферага чиқиб кетади.

Камерали ўтхоналарда аксинча, кулнинг кўп қисми (90 % яқини) мўри орқали тутун газлари билан бирга атмосферага чиқиб кетади. Кулнинг қолган қисми шлакка айланади ва ўтхона тагида жойлашган бункерларга тушади. Кул ва шлак қозонхонадан мунтазам равишда чиқарилиб турилади. Тутун газлари билан атмосферага чиқиб кетувчи кулни йўқотиш анча қийин иш. Жуда майин учувчан кул атроф муҳитни ифлослантиради, тирик организмларга ва ўсимликларга зарарли таъсир этади. Санитария талабларига кўра нафас олиш соҳасида кулнинг кунлик ўртача концентрацияси 0,15 мг/м^3 дан ортиб кетмаслиги керак. Бундан ташқари, абразив хусусиятларга эга бўлган кул тутун тортиш йўлларини тез ишдан чиқаради.

Ҳар йили жаҳонда органик ёқилғиларнинг ёқилишидан атмосферага ўртача 100 млн. тонна кул ва 150 млн. тонна карбонат ангидрид гази чиқарилади. Масалан, майда антрацит ёқиладиган қуввати 950 т/соат бўлган қозон мўрисида бир кечаю кундузда 60 тоннагача азот оксиди атмосферага чиқарилади

Шунинг учун қаттиқ ёқилғини ёқишда қозон агрегати газ йўлларининг бошидан охиригача кулни тутиб қолувчи қурилмалар ўрнатилади. Ҳозирги вақтда тутун газларини кулдан тозалаш учун инерцион кул тутгичлар (қуруқ ва хўл), электрофильтрлар ва комбинациялашган кул тутгичлар ишлатилади. Қуруқ инерцион кул тутгичларда (14.12-расм, а) ҳаракатланаётган кул заррачаларининг марказдан қочувчи кучидан фойдаланилади.



14.12-расм. Инерцион кул тутгичларнинг схемалари.

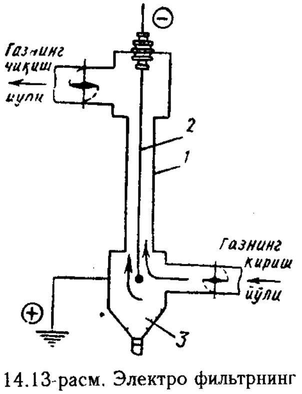
Тутун газлар оқими уюрмаловчи найча 1 лар орқали циклон 2 га йўналади, бу ерда газларнинг ҳаракати уюрмали ҳаракатга айланади. Кул зарралари марказдан қочувчи куч таъсирида циклон қобиғига урилиб тўхтайди ва ҳаракатланаётган газ оқимида ажралиб бункерга тушади.

Бундай циклонда тутун газларининг тозаланиш даражаси 60 % га етади. Ҳозирги пайтда бир нечта ўнлаб кичик циклонлардан иборат батареяли циклонлар кенг қўлланилмоқда. Бундай циклонда газларнинг тозаланиш даражаси 65 - 70 % етади .

Ҳўл инерцион кул тутгичлар (14.12-расм; б) ҳам инерция кучидан фойдаланиш асосида ишлайди. Форсунка орқали юбориладиган сув қобиқ деворларида юпқа парда ҳосил қилиб тўхтовсиз оқиб туради ва кулни ювади.

Тутилган кул ва кир сув қурилманинг пастки қисмидан, тозаланган газ эса юқори қисмидан атмосферага чиқиб кетади. Бундай турдаги кул тутгичларда тутун газларининг тозаланиш даражаси 85 - 90 % етади.

Электр фильтрларда газларнинг юқори кучланишли ток таъсирида ионлашишидан ҳосил бўлган зарядларни ажратиш хусусиятидан фойдаланилади (14.13-расм).



14.13-расм. Электро фильтрнинг схемаси.

Чангли газ пўлат цилиндр (мусбат қутб) ва нихром сим (манфий қутб) ўртасида ҳосил бўлган электр майдонидан ўтади. Юқори кучланишли электр майдон таъсирида тутун газлари ионлашади. Кулнинг асосий массаси

манфий зарядланиб цилиндр деворига тортилади, кулнинг озроқ қисми мусбат зарядланиб симга тортилади.

Электрофильтрни вақти вақти билан силкитиб(кучланишни ажратиб қўйилиб) электрофильтрлар кулдон тозаланади. Электр энергиясининг сарфи катта эмас (1000 м^3 газга 0,15 КВт), лекин юқори кучланиши (90 минг В гача) электрофильтрлар,билан ишлашда ниҳоятда эҳтиёт бўлишни талаб этади.

Комбинациялашган кул тутгичлар икки босқичли бўлиб, кўп ҳолларда батареяли циклондан (биринчи босқич) ва электрофильтрдан (иккинчи босқич) ташкил топган бўлади. Кул тутгичларнинг самарадорлиги тозалик коэффициенти орқали баҳоланади:

$$\varepsilon = S_k/S_0 \cdot 100\%,$$

Бу ерда S_k, S_0 - мос равишда кул тутгичдан кейинги ва кул тутгичдан олдинги газлардаги кул миқдори.

Сув тайёрлаш асослари

Қозонларга сув тайёрлаб беришдан асосий мақсад қозонга узатиладиган сувни қайта ишлаш йўли билан унинг физик хоссаларини яхшилаш, қозон агрегатининг иш унумини ва самарадорлигини оширишни таъминлашдан иборат. Маълумки , табиатдаги сувда турли-туман кимёвий элементлар ва уларнинг тузлари эриган ҳолда учрайди. Буларга эриган газлар (кислород ва карбонат ангидрид), минерал тузлар, органик моддалар, қаттиқ (қум) зарралар киради. Сувда эриган газлар металлни тезда занглатади, қаттиқ зарралар иссиқлик ўтказувчанликни пасайтиради, эриган кальций ва магний тузлари сувнинг қайнаш жараёнида қозон деворларида қасмоқ ҳосил қилади.

Қозон агрегатларида ишлаб чиқарилган буғ истеъмолчидан конденсат ҳолида қайтади, лекин конденсат миқдори одатда, ишлаб чиқарилган буғ миқдорларидан оз бўлади. Конденсат исрофи машинасозлик корхоналарида 20 % ни, кимё саноатида 40 % ни, нефтни қайта ишлаш заводларида 50% ни ташкил қилади. Иситиш қозонларида конденсатни истеъмолчидан қайтмаслиги бир неча фоиздан 100% гача ўзгариши мумкин. Бундан ташқари сувнинг маълум бир қисми (5-7%) барабандан пуфлаб чиқарилади.

Конденсат ва сув исрофлари қўшимча сув билан тўлдирилади. Бу сув қозон агрегатига юборилишидан олдин тегишли тарзда тайёрланади. Дастлабки тайёргарликдан ўтган сувни қўшимча сув, конденсат ва қўшимча сув аралашмасини таъминлаш суви, қозон контурида айланаётган сувни қозон суви дейилади.

Қозон агрегатининг мўътадил ишлашни таъминлаш сувнинг сифатига боғлиқдир.

Сувнинг сифатини қуйидаги асосий кўрсаткичлар тавсифлайди: ти-

ниқлик, муаллақ зарралар миқдори, қуруқ қолдиқ, туз миқдори, оксидланувчанлик, қаттиқлик, ишқорийлик, эриган газлар (CO_2 ва O_2) миқдори. Тиниқлилик сув таркибидаги муаллақ механик зарралар ва коллоид аралашмалар билан тавсифланади, муаллақ зарралар миқдори эса сувни қаттиқ эримайдиган аралашмалар билан ифлосланиш даражасини белгилайди. Муаллақ зарралар миқдори мг/л да белгиланади. Қуруқ қолдиқ - бу сувни қайнатиб буғлантириб ва 110 - 120° С да қуритилгандан сўнг қолган қолдиқ. Қолдиқ таркибида сувда эриган минерал ва органик моддалар бўлади. Сувдаги катион ва анионларнинг умумий миқдори сувдаги туз миқдорини белгилайди. Оксидланувчан-лик сувдаги органик аралашмаларнинг концентрациясини белгилайди. Сувнинг қаттиқ ёки юмшоқлиги унинг таркибидаги кальций ва магний тузлари ($Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $Ca\ SP_4$, $Mg\ SP_4$, $Ca\ Cl_2$,$Mg\ Cl_2$ ва х.к.) миқдори билан белгиланади.

Қозон агрегатининг ишлашида қозон сувида мунтазам равишда зарарли аралашмалар тўпланиб боради. Сувда эриган аралашмалар (тузлар) буғ ҳосил бўлиш жараёнида чўкмага тушади ва қозоннинг ички юзасига қуйқа ва шлак тарзида ўтириб, иссиқлик ўтказувчанликни пасайтиради, бу эса деворнинг ўта қизиб кетишига сабаб бўлади.

Сувнинг қаттиқлигини пасайтириш (юмшатиш) учун қозонларга сувни узатишдан аввал, унга сода, натрий фосфат, айрим ҳолларда бошқа тузлар қўшилади.

Сувдаги кальций ва магний катионлари фосфатларнинг ионлари билан боғланади ва кам эрийдиган тузлар ҳосил қилиб қозон тубига чўкади ва сув юмшайди.

Қаттиқ механик аралашмалардан сувни тозалашда тиндириш, фильтрлаш усулларидан кенг фойдаланилади.

Қозон барабанида сувнинг аралашмалар билан ифлосланиши натижасида кўпик ҳосил бўлади. Кўпик парчалари сув юзасига қалқиб чиқиб, ўзи билан бирга зарарли араашмаларнинг кўп қисмини илаштириб чиқади. Шундай қилиб, тузларнинг максимал концентрацияси қозон сувининг юқори қатламларида ҳосил бўлади. Сувнинг юқори қатламларини йўқотиш учун барабанга қатор тешиклар бор қувур жойлаштирилади ва шу қувур орқали юқори қатламдаги сув олинади (пуфланади).

Барабандан пуфлаб чиқарилаган сув сепараторга юборилади. Сепараторда сув қайнайди ва унинг бир қисми буғга айланади, буғ эса қурилманинг умумий тизимига ўтади. Тозалаш сувнинг қолган қисми техник канализацияга тушириб юборилади.

14.5. Қозон агрегатининг иссиқлик баланси

Қозон агрегатига иссиқлик келиши ва уни сарфланиши мувоза-натлашган, яъни баланслашган бўлиши керак. Иссиқлик баланси асо-сида ёқилғини сарфи аниқланади ва қозон агрегатининг асосий тавси-фи бўлган

Ф.И.К. ҳисобланади. Иссиқлик баланси тенгламаси 1 кг қаттиқ суюқ ёки 1 м^3 газ ёқилғиси учун тузилади:

$$Q_p^в = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \qquad (14.1)$$

бунда $Q_p^в$ - ихтиёримиздаги иссиқлик; Q_1 - фойдаланилган иссиқлик; Q_2 - чиқиб кетаётган газлар билан иссиқликнинг исроф бўлиши; Q_3 - кимёвий тўла ёнмасликдан иссиқликнинг исроф бўлиши; Q_4 - механик тўла ёнмасликдан иссиқликнинг исроф бўлиши; Q_5 - атроф муҳитга иссиқликнинг исроф бўлиши; Q_6 - қозон агрегатидан ташқарига чиқариладиган шлак иссиқлиги ҳисобига бўладиган иссиқлик исрофи.

Иссиқлик баланси тенгламасини $Q_н^и$ га нисбатан фоизларда ифодалаш мумкин.

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100\% \qquad (14.2)$$

бунда $q_1 = \frac{Q_1}{Q_н^и} 100\%$; $q_2 = \frac{Q_2}{Q_н^и} 100\%$ ва ҳ.к.

Ихтиёримиздаги иссиқлик қуйидаги катталикларни йиғиндисига тенг бўлади:

$$Q_в^в = Q_н^в + Q_{фм} + Q_{х.и} + Q_{б.м} \qquad (14.3)$$

бунда $Q_н^и$ - ёқилғининг қуйи ёниш иссиқлиги; $Q_{фм}$ - ёқилғининг физик иссиқлиги; $Q_{х.и}$ - ҳаво билан кирган иссиқлик; бу иссиқлик ҳаво ташқи манба-дан иситилганда ҳисобга олинади; $Q_{б.м}$ - пуфланадиган буғ билан мазут ёқишда келадиган иссиқлик.

Ҳаво билан кирган иссиқликни қуйидаги тенгламадан ҳисобланади:

$$Q_{хв} = \alpha V_0 c'_p (Tи.х - Тс.х)$$

бунда α- ортикча ҳаво коэффициенти; c'_p - ҳавонинг ўртача хажмий изобар иссиқлик сиғими; $Tи.х$- иситилган ҳаво температураси; - совуқ ҳаво температураси; V_0- 1 кг ёки 1 м^3 ёқилғининг ёниши учун зарур бўлган ҳавонинг назарий миқдори.

Буғ билан кирган иссиқлик қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Q_{бм} = W_ф (h_ф - r)$$

бунда $W_ф$- буғнинг форсункадаги сарфи, 0,3 - 0,4 кг/кг; $h_ф$- буғ энтальпияси, кЖ/кг; r - буғ ҳосил қилиш иссиқлиги, кЖ/кг.

Ёқилғининг физик иссиқлиги:

$$Q_{фм} = c_г (T_г - 273)$$

бунда $c_г$- ёқилғининг иссиқлик сиғими; $T_г$- ёқилғи температураси, К.

Баланс тенгламасидаги $Q_{ф.и} + Q_{и.} + Q_{х.ви}$ йиғинди $Q^и_к$ га нисбатан жуда кичик бўлганлиги сабабли уларни айрим тақрибий ҳисоблашларда эътиборга олмаса ҳам бўлади. Унда тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$Q^и_и = Q^и_к$$

Чиқиб кетаётган газлар билан иссиқликликнинг исроф бўлиши q_2 энг катта исроф бўлиб, асосан чиқиб кетаётган газларнинг температурасига ва ортиқча ҳаво коэффициентига боғлиқ.

Газ ва суюқ ёқилғи ёқилганда (%)да :

$$q_2 = \frac{h_2 - \alpha_г h_{с.х}}{Q^и_и} 100 \qquad (14.4)$$

ва қаттиқ ёқилғи ёқилганда (%)

$$q_2 = \frac{h_2 - \alpha_г h_{с.х}(100 - q_4)}{Q^и_к} \qquad (14.5)$$

бунда $\alpha_г$-чиқиб кетаётган газлардаги ортиқча ҳаво коэффициенти; $h_г$- ёниш маҳсулотлари энтальпияси; $h_{с.х}$- ўтхонага кираётган совуқ ҳаво энтальпияси;

$$h_г = V_г \cdot c_г \cdot t_г \qquad (14.6)$$

бу ерда Vг- чиқиб кетаётган ёниш маҳсулотлари ҳажми; $c_г t_г$- чиқиб кетаётган газларнинг иссиқлик сиғими ва температураси.

Ҳозирги пайтда қозон қурилмаларини лойиҳалашда чиқиб кетаётган тутун газларнинг ҳисобланган температурасини 120 -170° С га тенг деб қабул қилинади. Унумдорлиги катта бўлган агрегатларда q_2= 3-7 % ни ташкил этади. Сув экономайзери ва ҳаво иситгичлари бўлмаган қозонларда q_2= 20-30% га етади.

Кимёвий тўла ёнмасликдан бўладиган иссиқлик исрофлари q_3 га ўтхонада ҳавонинг умуман етишмаслиги ёки ёқилғининг ҳаво билан ёмон аралашиши натижасида шу жойда ҳавонинг етишмаслиги сабаб бўлади.

Механик тўла ёнмасликдан бўладиган иссиқлик исрофлари q_4, чўғдонларининг тешикларидан тўкилиб қозон агрегатларидан кул ва шлак билан бирга ҳамда тутун газлари билан бирга чиқиб кетадиган ёқилғининг ёниб бўлмаган зарралари миқдорига боғлиқ.

Камерали ўтхонада қаттиқ ёқилғи ёқишда исрофлар йиғиндиси q_3+q_4 1-7% ни ташкил этади.

Ўтхона деворларининг иссиқлик изоляцияси орқали иссиқлик кам исроф бўлади.

Унумдорлиги 2,78 кг/с гача бўлган буғ қозонлари учун; q_5=2÷4%16,7 кг/с гача -q_5=1÷2%, 16,7 дан юқори бўлса, q_5=1÷0,5%бўлади. Кул ва шлак

билан билан бирга иссиқлик исрофлари кам бўлади ва у асосан қатламли ва камерали ёқишда ҳисобга олинади ($q_6 = 1 \div 1,5\%$).

Ўтхонада ёқилғи ёнганда олинган иссиқликлардан фойдаланиш даражаси қозон агрегатининг Ф.И.К. га қараб аниқланади (% да) :

$$\eta_{ka} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_н^р}100 \qquad (14.7)$$

ёки

$$\eta_{ka}^{бр} = 100-(q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \qquad (14.8)$$

бунда $\eta_{ka}^{бр}$ - қозон агрегатининг брутто Ф.И.К..

Қозон агрегатининг ўзига сарф бўладиган иссиқлик миқдорини ҳисобга олмасдан ҳисобланган Ф.И.К. қозоннинг брутто Ф.И.К. дейилади.

Агар қозон агрегатининг ўзига сарфланган иссиқликни эътиборга олсак, у ҳолда қозон агрегатининг нетто Ф.И.К. ни ҳосил қиламиз:

$$\eta_{ka}^{н} = \eta_{ka}^{бр} - q_{у} \qquad (14.9)$$

Замонавий қозон агрегатининг Ф.И.К. 90-95% бўлиб, улар саноатнинг турли соҳаларини буғ ва сув билан таъминлайди ҳамда буғ турбинаси билан ҳамкорликда электр энергияси ишлаб чиқаради.

Фойдаланилган иссиқликни қуйидагича аниқлаш мумкин. В билан ёқилғи сарфини, Д билан қозон агрегатининг буғ унумдорлигини, Qка билан таъминлаш сувини буғга айлантириш учун сарфланган иссиқликни белгилайлик. У ҳолда қозон агрегатида иссиқлик сарфи қуйидагига тенг бўлади:

$$BQ_н^р\eta_{ka}^{бр} = Q_{ka} \qquad (14.10)$$

(14.10) тенгламадан ёқилғи сарфи В ни (кг/с да) аниқлаш мумкин:

$$B = \frac{Q_{ka}}{Q_н^р \cdot \eta_{ka}^{бр}} \qquad (14.11)$$

Qка ни (кЖда) қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$Q_{ka} = D(h_б - h_{тс}) + D_п(h' - h_{тс}), \qquad (14.12)$$

бунда hб, hт.с, h' - ўта қизиган буғнинг, таъминлаш сувининг ва тўйинган буғнинг энтальпияси, кЖ/кг; Дп - пуфлаш сувининг сарфи, кг.

Пуфлаш сувининг сарфи саноат қозонларининг техник ишлатиш қоидаларига асосан Д нинг 5% дан ортмаслиги керак.

Назорат учун саволлар

1. Қозон агрегатининг таркибий қисми.
2. Қозон қурилмаси таркиби.
3. Энергетик қозон қурилмалари.
4. Иситиш қозон қурилмалари.
5. Табиий циркуляцияли қозон қандай ишлайди?
6. Қозон агрегатининг Ф.И.К.ни қандай йўллар билан ошириш мумкин?
7. ТП-100 қозон агрегати технологик схемасини тушунтириб беринг.
8. ДКВР туридаги қозон агрегати ишлашини тушунтириб беринг.
9. Тўғри оқимли қозонларнинг афзаллиги нимадан иборат?
10. Қозон агрегатининг асосий иситиш сиртлари.
11. Буғ қиздиргичлар.
12. Сув экономайзери.
13. Ҳаво иситгичлар.
14. Қозон қурилмасининг ёрдамчи қурилмалари.
15. Кул тутгичлар қандай ишлайди?
16. Қозон агрегатининг иссиқлик баланси.

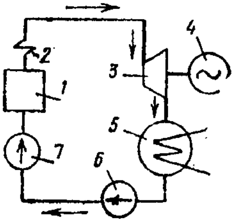
ЎН БЕШИНЧИ БОБ

БУҒ ТУРБИНАЛИ ҚУРИЛМА

15.1. Буғ - куч қурилмасининг назарий цикли

Ҳозирги вақтда электр энергиясининг асосий қисми (80% га яқини) буғ - куч қурилмаларида ишлаб чиқарилади, уларда иш жисми сифатида суюқ ва буғ ҳолатдаги сув ишлатилади. Ёқилғининг ёнишида ҳосил бўладиган иссиқликни механикавий ишга айлантирадиган қурилмалар йиғиндиси буғ-куч қурилмаси дейилади.

Буғ-куч қурилмалари қозон агрегати, буғ турбинаси, конденсатор, насос, электр генератор ва бошқа ёрдамчи ускуналардан ташкил топган. Буғ-куч қурилмаларида ишлатиладиган иш жисми - сув буғи параметрларининг ўзгаришини қараб чиқамиз. Буғ-куч қурилмаларининг назарий цикли Ренкин цикли ҳисобланади (15.1-расм). Бундай циклни XIX асрнинг 50 - йилларида шотландиялик муҳандис ва физик У.Ренкин ҳамда Р.Клаузиуслар қарийиб бир вақтда таклиф этдилар; одатда бу циклни Ренкин цикли деб атайдилар.



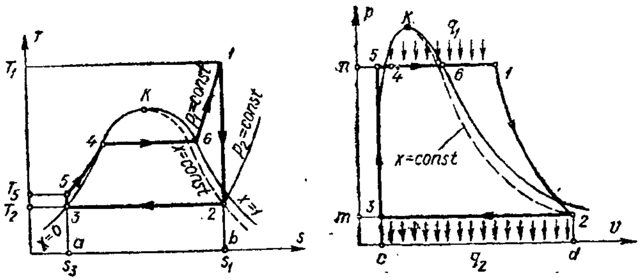
15.1-расм. Буғ-куч қурилмасининг элементар схемаси.

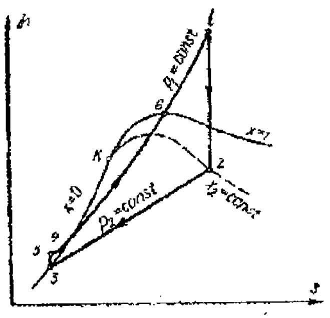
Буғ қозони 1га иссиқлик келтирилади. Қозондаги сув исийди ва тўйинган нам буғга айланади. Бу буғ буғ қиздиргич 2 га ўтади ва ерда белгиланган температурагача қизийди. Юқори босим ва температурадаги қиздирилган буғ турбина 3 га юборилади, бу ерда у кенгайиб иш бажаради. Механик иш генератор 4 нинг валига узатилади. Ишлаб бўлган буғ эса турбинадан конденсатор 5 га ўтиб у ерда конденсатланади. Сўнгра конденсат насоси 6 билан таъминлаш насоси 7 конденсатнинг босимини берилган қийматгача оширий, кейинги цикл учун қозонга узатиб беради.

Ренкин цикли тўртта - иккита изобарик ва иккита адиабатик жараёндан таркиб топади.

15.2 - расмда Ренкин циклининг pv, Ts ва hs диаграммалари тасвирланган.

Бу диаграммаларда ординатадаги 1 ва 2 нуқталар орасидаги масофа турбина бажарган ишга, 2 ва 3 нуқталар орасида иш бажариб бўлган буғ, ўзидаги қолдиқ иссиқликни конденсатор - совитгичга бериб конденсацияланади, 3 ва 5 нуқталар орасида конденсат насосда сиқилади, 1 ва 5 нуқталар орасидаги масофа циклда бажарилган иссиқлик q_1 га мос келади.





15.2 – расмда Ренкин циклининг *pv*, Ts ва hs диаграммаси

Циклда иш жисмига, бериладиган иссиқлик миқдори (q_1) Ts диаграммада а-3-5-4-6-1-в-с юза билан тасвирланади. Циклдан олина-диган иссиқлик (q_2) а - 3-2-в-а юзага, цикл иши эса pv диаграммада 3-5-4-6-1-2-3 юзага эквивалент.

Ренкин циклида иссиқлик бериш ва олиш жараёнлари изобаралар бўйича амалга оширилиши, изобарик жараёнда эса берилган (олинган) иссиқлик миқдори иш жисмининг жараён боши ва охиридаги энтальпиялари айирмасига тенг бўлиши туфайли, Ренкин циклига тад-биқан қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$q_1=h_1-h_5 \qquad (15.1)$$

ва

$$q_2=h_2-h_3 \qquad (15.2)$$

Бу ерда h_1 ўта қизиган сув буғининг қозондан чиқишдаги энтальпияси (p_1 босим ва T_1 температурада); h_5 - сувнинг қозонга киришдаги, яъни насосдан чиқишдаги энтальпияси (p_1 босим ва T_5 температурада); h_2 - нам буғнинг турбинадан чиқишдаги, яъни конденсаторга киришдаги энтальпияси (бу энтальпия p_2 босим билан қатъий аниқланадиган тўйиниш температураси T_2 да сувнинг тўйиниш чизигидаги энтальпиясига тенг).

1 кг буғнинг цикл давомида бажарган фойдали иши $l_{фой}$ буғнинг турбинага киришдаги h_1 ва ундан чиқишдаги h_2 энтальпияларининг фарқига тенг:

$$l_{фой} = h_1 - h_2 \qquad (15.3)$$

Умумий таърифга кўра, ҳар қандай циклнинг термик Ф.И.К. h_t фойдаланилган иссиқлик q_1-q_2 нинг келтирилган иссиқлик q_1 га нисбатига тенг:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_{фой}}{q_1} \qquad (15.4)$$

Ренкин циклининг Ф.И.К. ушбу ифодадан аниқланади:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_3) - (h_2 - h_3)}{h_1 - h_3} \qquad (15.5)$$

Бу тенгламани қуйидаги кўринишда ҳам ёзиш мумкин:

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_5) - (h_5 - h_3)}{h_1 - h_5} \qquad (15.6)$$

Насос бажарган иш (h_5-h_3) турбинада бажарилган ишга (h_1-h_2) нисбатан жуда кичик бўлиши туфайли, уни назарга олинмаса, яъни $h_3 \approx h_5$ бўлади десак, у ҳолда (15.6) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин.

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_3} \qquad (15.7)$$

Бу муносабатдан паст босимли буғ - куч қурилмалар циклини тахминан ҳисоблашда фойдаланиш мумкин. Юқори босимли қурилмаларда насос иши катталигини назарга олмасдан бўлмайди. Фойдали иш бирлиги олиш учун турбина орқали муайян миқдорда буғ ўтказиш керак; буғнинг шу миқдори буғнинг солиштирма сарфи дейилади ва d_0 ҳарфи билан белгиланади (кг/ЖК):

$$d_0 = \frac{1}{h_1 - h_2} \qquad (15.8)$$

Барча буғ-куч қурилмалари, асосан электр энергияси ишлаб чиқаришга мўлжалланган бўлади, шунинг учун буғнинг солиштирма сарфи d_0 электр энергияси бирлигига тўғри келадиган бирликларда ўлчанади. Агар энтальпиялар фарқи h_1-h_2 кЖ/кг ларда ифодаланса, у ҳолда d_0 кг/(кВт·соат) билан ифодаланади. 1кВт·соат = 3600 кЖ эканлигини ҳисобга олиб, (15.8) формулани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$d_0 = \frac{3600}{h_1 - h_2} \quad кг/(кВт \cdot соат)$$

Муайян қувватда буғнинг нисбий сарфи қанчалик кам бўлса, буғ-куч циклининг Ф.И.К. шунчалик катта бўлади.

Замонавий буғ-куч қурилмалари ўта мураккаб бўлишига қарамасдан Ф.И.К. 90-98% ни ташкил қилади. Ренкин цикли термик Ф.И.К.-

нинг катталиги сув буғи параметрларига қандай боғлиқлигини аниқлаймиз. Тадқиқотлар натижасида Ренкин циклининг Ф.И.К. қуйидаги ҳолларда ортиши аниқланган: P_1 босим ортса, P_2 босим камайса ва буғнинг ўта қизиш температураси T_1 ортса. Буғкуч қурилмаларининг Ф.И.К. ортиши туфайли кўп миқдорда ёқилғи тежалади. Масалан, қуввати 50 минг кВт бўлган буғ-куч қурилмасининг Ф.И.К. 1%га ортса, ҳар соатда 250 кг шартли ёқилғи тежалади. 15.1- жадвалдан кўриниб турибдики, t_1 ва p_1 ўзгармас бўлиб, бошланғич босим p_1 ортса, Ренкин циклининг термик Ф.И.К. ортади.

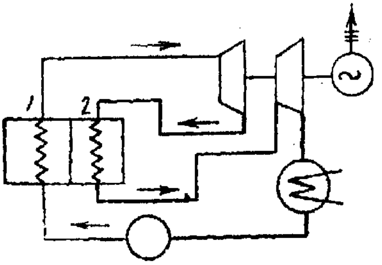
Лекин p_1 босимни ортиши натижасида кенгайиш охирида буғнинг намлиги ортади.

η_t нинг P_1, t_1, P_2 ларга боғлиқлиги

15.1 - жадвал

P_1, МПа	η_t, %	t_1, ^0C	η_t, %	P_2, МПа	η_t, %
1,5	34	300	37,4	0,004	38,9
2,5	36,9	350	38	0,01	36,3
5	38,9	400	38,9	0,08	29,6
7,5	40,5	450	39,5	0,12	27,8
10	41,5	500	40,2	0,2	25,5
12,5	42	550	40,8	0,3	22,3
T_1=400 ^0C; P_2=0,004МПа		P_1=5МПа; P_2=0,004МПа		P_1=5МПа; t_1=400 ^0C	

Намлиги юқори бўлган буғ турбина парракларини тез ишдан чиқаради. Намликнинг йўл қўйилиши мумкин бўлган меъёрдан (10% гача) ортиб кетмаслиги учун буғ оралиқ босқичда қиздирилади. Буғ турбинада қисман кенгайгандан кейин буғ қиздиргичга берилади, бу ерда у қайтадан ўта қизиган буғ ҳолатига ўтди. Шундан кейин у буғ турбинанинг охирги босқичларига юборилади. Буғни оралиқ босқичда қиздириш термик Ф.И.К. ни қисман кўпайишига ва турбина парраклари ишлаш муддатининг узайишига олиб келади.



15.3- расм. Буғни оралиқ босқичда қиздириладиган буғ-куч қурилмасининг схемаси

15.3- расмда буғни оралиқ босқичда қиздиришнинг оддий схемаси келтирилган.

Оралиқ буғ қиздиргич 2 қозон агрегатининг газ йўлларига, одатда, асосий буғ қиздиргич 1 дан кейин ўрнатилади.

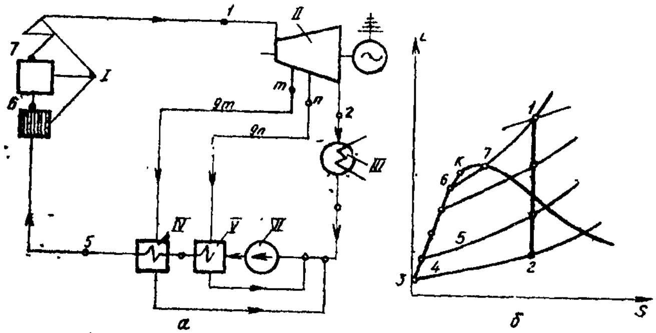
Буғ қиздиргич 2 даги буғ қизиган газлар таъсирида деярли бошланғич температурасигача исийди ва турбинанинг охирги босқичларига ўтади.

p_1 ва p_2 ўзгармасдан буғнинг бошланғич температураси t_1 кўтарилиши билан температура тушиши кўпаяди ва натижада ht ортади (15.1-жадвалга қаранг), буғнинг намлиги эса, камаяди. Буғнинг турбинадан чиқишдаги босими p_2 қанчалик паст бўлса, буғ бажарган иш шунчалик кўп ва қурилманинг термик Ф.И.К. атга бўлади. Лекин p_2 босим конденсатордаги совитувчи сувнинг темпера-тураси билан аниқланади. Сувнинг йиллик ўртача температурасини 10-15---0 С дан паст температурагача совитадиган табиий совитгичлар йўқлиги сабабли, p_2 ни жуда камайтириш йўли билан циклнинг Ф.И.К.ни ошириш амалда мумкин эмас.

15.2. Регенератив циклли буғ - куч қурилмаси

Иссиқлик техникасида регенерация сўзи чиқиб кетаётган иссиқликнинг бир қисмини иссиқлик қурилмасида яна ишлатиш учун қайтариш маъносини билдиради.

Конденсатордан қозонга ўтадиган конденсатни иситиш, таъминлаш сувини регенератив иситиш дейилади. 15.4-расмда таъминлаш суви регенератив иситиладиган буғ-куч қурилмасининг схемаси ва унинг hS диаграммаси келтирилган.



15.4-расм. Регенерация циклли буғ-куч қурилмаси ва унинг hs-диаграммаси:
I - қозон қурилмаси; II- буғ турбинаси; III- конденсатор; IV-конденсат насоси; V ва VI- регенерация қурилмалари

Таъминлаш сувини (конденсатни) иситиш учун унинг йўлига регенератив иситгич V ва VI лар ўрнатилган. Иссиқлик ташувчи сифатида турбинанинг оралиқ босқичларидан буғнинг бир қисми олинади, яъни тўлиқ

ишламаган буғ олинади ва иситгичга юборилади. Ис-сиқ буғ билан иситилган конденсат таъминлаш насоси IV билан қо-зонга узатилади. Буғнинг бошланғич параметрлари p_1, t_1 га қараб, конденсатнинг температураси 145-245 °C га етказилади. Таъминлаш сувини регенератив иситиш натижасида циклнинг термик Ф.И.К. 10-14 % га ортади. Буғнинг бошланғич параметрлари қанчалик ортса, шунчалик кўп ёқилғи тежалади. Неча жойдан ва қаердан буғ олиниши ҳамда шунга мувофиқ ҳолда иситгичларнинг сони ҳисоблаш йўли билан аниқланади.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, сувни регенератив иситиш босқичлари сони ошганда циклнинг Ф.И.К. ортади. Замонавий, юқори параметрли буғ турбиналари қурилмаларида регенератив иситиш босқичлари сони ўнтага етади.

15.4-расмда тасвирланган буғ икки марта олинадиган буғкуч қурилмасининг Ф.И.К. ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\eta_t = \frac{A}{q_1} = \frac{(h_1 - h'g_m - h''g_n - h_2 g)}{(h_1 - h_{т.с.})} \qquad (15.9)$$

бу ерда h_1- турбинага кираётган буғ энтальпияси; h', g_m- биринчи иситгичга келаётган буғ энтальпияси ва миқдори; h'', g_n - иккинчи иситгичга келаётган буғ энтальпияси ва миқдори; h_2, g - конденсатор-га келаётган буғ энтальпияси ва миқдори; $h_{т.с.}$ - таъминлаш суви эн-тальпияси.

Буғнинг солиштирма сарфи қуйидагича бўлади:

$$d_0 = 1/l = 1/(h_1 - h'g_m - h''g_n - h_2 g) \qquad (15.10)$$

15.3. Бинар циклли буғ - куч қурилмаси

Буғ - куч қурилмасида ишчи жисм сифатида сувнинг жиддий камчилиги шундан иборатки, сувнинг критик температураси нисбатан катта бўлмаган ҳолда (tкр=374,150 С), критик босими анча юқоридир (Ркр=221,15 бар).

Шу сабабли циклнинг термик Ф.И.К. ни ошириш учун, буғнинг бошланғич температурасини юқори бошланғич босим билан биргаликда кўтариш лозим бўлади, бунга эса, қўлланилаётган ўтга чидамли материаллар бардош бера олмайди.

Агар, сувга нисбатан ўртача босимда критик температураси юқори бўлган ишчи жисмни топиш мумкин бўлганда эди, Ренкин циклини Ф.И.-К.ни ошириш мумкин бўлар эди. У ҳолда циклга иссиқлик келтиришни, изотермик жараёнда юқори температурада ва паст босимларда амалга ошириш мумкин бўлар эди. Шу билан биргаликда паст температуралар соҳасида ишчи жисмнинг тўйиниш босими жуда ҳам кичик бўлмаслиги лозим.

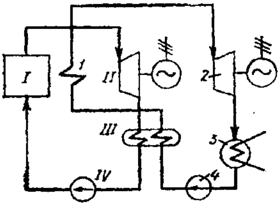
Афсуски, ҳозирги вақтда бу шартларнинг етарли даражада қониқтирадиган иш жисми маълум эмас. Замонавий иссиқлик энергетикасида энг кўп тарқалган иш жисми - сув, циклнинг паст температурали қисми учун жуда мос ишчи жисм бўлади. Лекин, юқорида айтиб ўтилганидек, сувнинг критик температураси нисбатан пастлиги туфайли, циклнинг юқори температурали қисми учун у мос келмайди.

Бошқа иш жисмларига бошқача камчиликлар хос бўлади. Масалан, симоб юқори температурада паст тўйиниш босимига ва юқори критик параметрларга эга бўлади: Ркр = 151 МПа, tкр = 1490 0С; масалан 557 0С да тўйиниш босими атиги 15 барни ташкил этади. Лекин бошқа томондан олганда, атроф муҳит температурасига яқин температурада симобнинг тўйиниш босими жуда паст: t=300С да р=0,36 Па. Одатда буғ турбиналари конденсаторида қўлланиладиган босим учун (р ≅ 4Па) симобнинг жуда ҳам катта температураси (t≅217,10С) мос келади. Пастки температураси шунчалик катта бўлган циклнинг тер-мик Ф.И.К. катта бўлмайди.

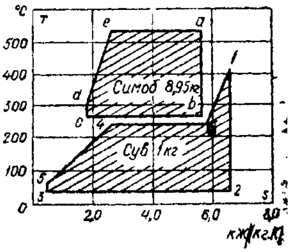
Шундай қилиб, симоб иш жисми сифатида циклнинг юқори (юқори температурали) қисми учун яхши, пастки қисми учун қониқар-сиз бўлади. Ҳозирги вақтда циклнинг барча температуралари интерва-лида айтиб ўтилган талабларни қониқтирадиган иш жисмлари бўлма-гани учун, циклни иккита иш жисми ўзаро уйғунлигидан фойдаланиб амалга ошириш мумкин; бу иккита иш жисмининг ҳар қайсиси энг кўп афзалликларга эга бўлган температуралар соҳасида қўлланилади.

Бундай турдаги цикллар бинар цикллар деб айтилади. Бинар симоб - сув цикли амалга ошириладиган буғ куч қурилмасининг схе-маси 15.5 - расмда ва Ts - диаграммаси 15.6 - расмда кўрсатилган.

Симоб қозони I да симобга иссиқлик берилади, симоб буғлана-ди ва симобнинг тўйинган қуруқ буғи P_1с босимда симоб турбинаси II га киради, бу ерда у турбина билан бирлаштирилган электр генераторига бериладиган ишни бажаради. Иш бажарган ва рlс босимга эга бўлган симоб буғи кондесатор - буғлатгич III га юборилади, у ерда буғ конденсацияланади, сўнгра эса суюқ симоб насос IV ёрдамида қозон I га юборилади; симоб босими насосда p_2с дан р1с гача ортади. Конденсатор-буғлатгич IIAA дан иборат бўлиб, конденсацияланаётган симоб буғи ўз иссиқлигини бу ерда совитувчи сувга беради. Бу иссиқлик ҳисобига конденсатор - буғлатгичдаги сув қайнаш температураси-гача исийди ва буғланади. Тўйинган қуруқ сув буғи буғ қиздиргич 1 га юборилади. Ўта қизиган сув буғи P_1сув босимда буғ турбинаси 2 га киради. Иш бажарган сув буғи P_2сув босимда конденсатор 3 да кон-денсацияланади, сўнгра сув насоси 4 ёрдамида конденсатор - буғлат-гичга юборилади.



15.5 - расм. Бинар симоб-сув куч қурилмаси схемаси



15.6 - расм. Бинар симоб-сув куч қурилмасининг Ts-диаграммаси

Айтиб ўтиш керакки, циклда симоб ва сув сарфлари турлича бўлади. Конденсатор - буғлаткичда 1кг сувни қайнагунча иситиш ва сўнгра буғлатиш учун 8,95 кг кондесацияланадиган симоб буғидан иссиқлик олиниши зарур.

Кўриб чиқилаётган циклнинг Ts диаграммаси 1кг сув ва 8,95 кг симоб учун қурилган (15.6-расм). Бу ерда а в - симоб турбинасида-ги адиабатик жараён; бс - конденсатор-буғлаттичда конденсациялана-ётган симоб буғидан иссиқлик олиш, cd - симоб насосидаги жараён, еа - симоб қозонида симобга изобарик иссиқлик бериш жараёни.

Бинар циклининг термик Ф.И.К. қуйидаги

$$\eta_t = \frac{L}{Q_1} = \frac{L_c + L_{сув}}{Q_1} = \frac{m(h_8^c - h_7^c) + (h_1^{сув} - h_2^{сув})}{m(h_8^c - h_6^c) + (h_1^{сув} - h_5^{сув})} \qquad (15.11)$$

муносабат ёрдамида аниқланади, бу ерда Lc-m кг симоб буғининг иши; Lсув - 1 кг сув буғининг иши, m- симобнинг айланиш карралиги (1кг сувга тўғри келадиган симоб массаси, кг); h_8^c- симоб қозонидан чиққан симоб буғи энтальпияси; h_7^c - симоб турбинасидан чиққан симоб буғи энтальпияси; $h_2^{сув}$ - турбинадан чиққан сув буғи энтальпияси; h1сув - буғ қиздиргичдан чиққан ўта қизиган сув буғи энтальпияси; h_6^c -конденсатордан чиққан симоб энтальпияси; $h_5^{сув}$ - қозондан чиқаётган тўйинган сув буғи энтальпияси.

Симобни айланиш карралиги m ни конденсатор-буғлаттичнинг иссиқлик балансидан аниқлаймиз

$$m = (h_5^{сув} - h_3^{сув}) \,|\, / (h_7 - h_6), \qquad (15.12)$$

бу ерда: $h_3^{сув}$ - конденсатордан чиққан сув энтальпияси.

15.4. Теплофикацион буғ-куч қурилмаси

Иссиқлик электр станцияларида электр энергияси ишлаб чиқариш

жараёнида жуда кўп иссиқлик миқдори конденсаторда сови-тувчи сувга берилади ва шундай қилиб, фойдасиз йўқолади. Маълумки, ишлаб чиқариш ва турмуш эҳтиёжлари учун иссиқлик ис-сиқ сув ва буғ кўринишида ҳар хил турдаги технологик жараёнларда биноларни иситиш, ҳамда иссиқ сув билан таъминлашда жуда кўп миқдорда истеъмол қилинади.

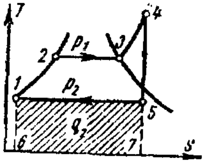
Одатда, буғ турбинали қурилмаларда конденсатордаги босим тахминан 4кПа га тенг бўлади, яъни буғ - 28-29°С га яқин температурада конденсацияланади. Бундай температурали сувдан эса, ишлаб чиқариш ёки турмуш эхтиёжларида фойдаланиб бўлмайди.

Одатда, технологик мақсадлар учун босими 150-260 кПа бўлган тўйинган сув буғи ёки температураси айрим қурилмаларда 180°С га кўтариладиган иссиқ сувдан фойдаланилади.

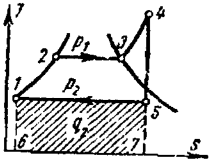
Агар конденсатордаги босимни 100-200 кПа гача оширилса, циклнинг пастки температураси ошади, термик Ф.И.К нинг катталиги бир оз пасаяди, лекин технологик ва турмуш эҳтиёжлари учун кўп миқдорда иссиқлик олиш имкони пайдо бўлади.

Электр станцияларида электр энергия ва иссикликни аралаш ишлаб чиқариш теплофикация деб айтилади, бундай электр станцияларда ишлатиладиган турбиналар теплофикацион турбиналар деб айтилади. Бундай электр станцияларни фақат электр энергияси ишлаб чиқарадиган конденсацион электр станциялари (КЕС) дан фарқли ўлароқ (ИЭМ) - иссиқлик электр марказлари деб айтилади.

Теплофикацион буғ турбиналари қурилмасининг цикли ва схемаси 15.7 ва 15.8- расмда тасвирланган.



15.7-расм. Теплофикацион буғ - куч қурилмасининг Ts-диаграммаси



15.8-расм. ИЭМ нинг схемаси.

Ts-диаграммада цикл иши одатдагидек 1-2-3-4-5-1 юза билан тасвирланади. 1-5-7-6-1 юза эса ташқи истеъмолчига берилган иссиқлик q_2 дан иборат. ИЭМ буғ қозони 1, буғ қиздиргич 2, қарши босимли буғ турбинаси 3, иссиқлик истеъмолчилари 4 ва насос 5дан ташкил топган. Бундай турдаги қурилмаларда конденсатор бўлмайди, иш бажарган буғ турбинадан буғ қувури бўйича ишлаб чиқариш эҳтиёжларига юборилади. Турбинадан чиқаётган буғ босими ишлаб чиқариш эҳтиёжлари билан аниқланади.

Циклнинг термик Ф.И.К. қуйидагига тенг:

$$\eta_t=(q_1-q_2)/q_1=l/q_1.$$

Қурилмада иссиқликдан фойдаланиш.

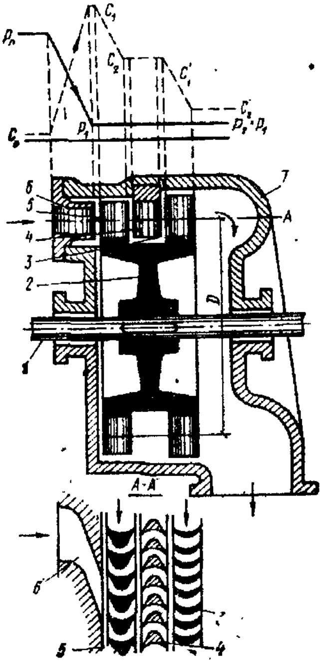
$$K=(L+q_2)/q_1.$$

муносабат билан аниқланади.

Бу ерда L-нинга айланган иссиқлик, q_2 - иссиқлик истеъмолчилари фойдаланган иссиқлик.

Тезлик босқичлари бор турбиналар

Қозон агрегатлари такомиллашиб бориши билан буғнинг параметрлари ҳам катталашиб борди, натижада кураклар ва турбина дисклариннинг айланма тезлиги U ҳам янада кўпайди. Лекин матери-алининг мустаҳкамлик шартларига кўра, айланма тезлик 300-400 м/с дан ортиб кетмаслиги керак, акс ҳолда марказдан қочувчи кучлар тур-бина кураклари ва дискларида ниҳоятда катта ҳамда хавфли куч-ла-нишлар пайдо қилади. Буғ турбиналарида тезлик босқичларини татбиқ этиш йўли билан иш дискининг айланишлар сонини камайтиришга, ҳамда буғнинг кинетик энергиясидан тўлароқ фойдаланишга мувофиқ бўлинди. 15.9-расмда 2 та тезлик босқичи бор актив турбинанинг схе-маси келтирилган. Тезлиги C1 бўлган буғ тезликнинг 1-босқичига, яъни биринчи қатордаги кураклариниг каналига киради, у ерда кине-тик энергиянинг фақат бир қисмигина механик ишга айланади. Сўнгра буғ C2<C1 тезлик билан турбина қобиғига маҳкамланган йўналтирувчи кураклариниг каналларига киради. Бу кураклар буғ



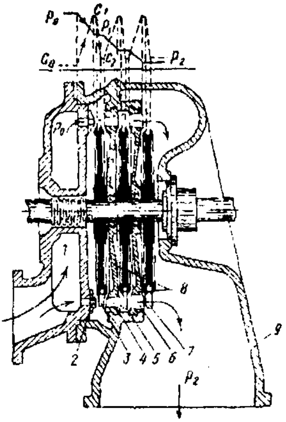
15.9-расм. Иккита тезлик босқичли актив турбинанинг схемаси.

1-вал; 2- диск; 3-иккинчи босқич кураклари; 4-йўналтирувчи кураклар; 5- биринчи босқич кураклари; 6- сопло; 7- қобиқ

оқимининг йўналишини ўзгартиришга мўлжалланган. Бу ерда буғ йўналтирувчи куракларга ишқаланиши натижасида тезлигининг озгина қисмини йўқотади ва иккинчи қатордаги куракларга ўтади. Тезликнинг иккинчи босқичида кинетик энергиянинг яна маълум бир қисми шига айланади. Бундай турбинани Чарлз Кёртис таклиф этган ва биринчи марта 1900 йилда қурилган.

Босим босқичлари бор турбина

15.10-расмда 3 та босим босқичи бор, актив турбинанинг схе-маси келтирилган. Турбинани қобиғи тўсиқлар: диафрагма 8 лар билан 3 та камерага бўлинган. Буғ ҳар қайси диафрагмага ва куракларининг панжараси 7 га ўтади. Р2 босимли ишлаб бўлган буғ потрубка орқали конденсаторга ўтади. Босим босқичлари бор турбинанинг Ф.И.К. и анча юқори бўлади. Буғ-куч қурилмаларида асосий двигатель сифатида кенг кўламда ишлатилади. Босим босқичлари актив турбиналарда ҳам реактив турбиналарда ҳам қўлланилади.



15.10-расм. Учта босим босқичи бор актив турбинанинг схемаси

Комбинациялаштирилган турбиналар

Комбинациялаштирилган турбиналарда босим ва тезлик босқ-ичларининг ижобий томонларидан фойдаланилади ва бундай турбина-лар актив ва актив-реактив бўлади. Масалан, баъзи комбинациялаш-тирилган турбиналарда юқори босим қисмига актив турбина, пастки босим қисмига реактив-турбина қўйилади. Бундай турбиналарда босим босқичларининг сони камаяди бинобарин турбина ихчамлашади, анча арзон ва шовқинсиз б ў л а д и .

15.5. Буғ турбинаси.

Буғнинг иссиқлик энергиясини босқичма-босқич механик энергияга айлантириб берувчи иссиқлик машинаси буғ турбинаси дейи-лади.

Ҳозирги пайтда буғ турбинаси замонавий йирик электр стан-цияларининг ягона двигатели хисобланади.

Италиялик олим Д.Бранко буғ турбинаси моделига хос бўлган буғ ғилдирагини 1629 йилда яратган, унда буғ оқимининг кинетик энергияси уйғотган импульс кураклн ғилдиракни айлантиришга сар-фланган.

Қуввати 4,4 кВт бўлган биринчи буғ турбинасини (реактив турби-

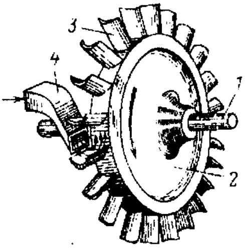
на) 1885 йили инглиз муҳандиси Парсонс яратди, 1913 йилда эса , турбинанинг куввати 25 МВт гача етказилди. Кейинчалик буғ турбиналарининг номинал қуввати 60 МВт, босими 12,8 МПа га етказилди, у купчилик иссиқлик электр станцияларида қўлланилиб келинмокда. Замонавий турбиналарнинг қуввати 1200МВт дан ортиб кетган. Турбина роторининг айланишлар сони эса 2000-50000 айл/мин оралиғида. Сув буғининг кинетик энергиясини механик энергияга айлантириш мумкинлигини швед муҳандиси Ловаль 1888 йилда (актив турбина) исботлади.

Шундай килиб, буғ турбинаси яратилгандан сўнг, уни тако-миллаштириш тадқиқотлари давом этди. Натижада бир, икки ва кўп босқичли буғ турбиналари яратилди.

Турбинадаги иш жараёни кетма-кет кечадиган икки босқич-дан ташкил топган: буғнинг потенциал энергиясини кинетик энергия-га айланиши ва буғнинг энергиясини турбина валининг айланма энергиясига айланиши.

Турбинанинг ишлаш тарзи содда. Турбинанинг (15.11-расм) оқиб ўтиш қисми иккита асосий қисмдан: сопло аппарати 4 ва турбинанинг вали 1 га ўрнатилган диск 2 дан ташкил топган. Дискнинг айланаси бўйлаб ишчи кураклар 3 маҳкамланган, улар каналлар ҳосил килади.

Босими юқори бўлган ва одатда температураси ҳам юкори бўлган ишчи жисм (буғ, газ, суюклик) сопло аппаратига киради. Спололарда буғ кенгаяди, унинг босими пасаяди ва тегишлича тезлиги ортади, яъни сопло аппаратида буғнинг ички энергияси кинетик энергига айланади. Иккинчи босқич ишчи кураклар ҳосил қилган каналларда содир бўлади, бу ерда буғнинг кинетик энергияси дискнинг ва у билан боғланган турбина валининг ҳаракатлантирадиган механик иши-га айланади.



15.11-расм. Турбинанинг ишлаш тарзи.
1-вал; 2-диск; 3-ишчи кураклар; 4-сопло

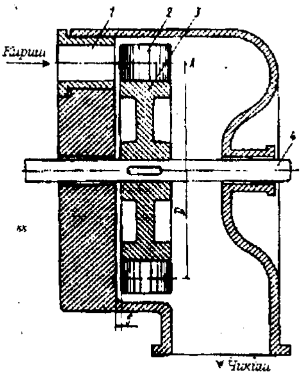
Турбина босқичларига буғ қўзғалмас ва айланувчан каналлар тизими бўйича ўтади. Шунинг учун ҳаракат турига кўра буғнинг уч хил тезлиги бўлади: С - абсолют тезлик; И - кўчма ҳаракат тезлиги, у турбина дискининг айланма тезлигига тенг; w - нисбий тезлик.

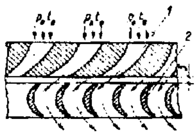
Буғнинг соплога кириш олдидаги, соплодан кейинги ва кураклардан кейинги параметрлари тегишлича 0,1,2 индекслар билан бел-гиланади.

Ишчи кураклар маҳкамланган битта дискли сопло аппарати турбинанинг босқичини ҳосил қилади.

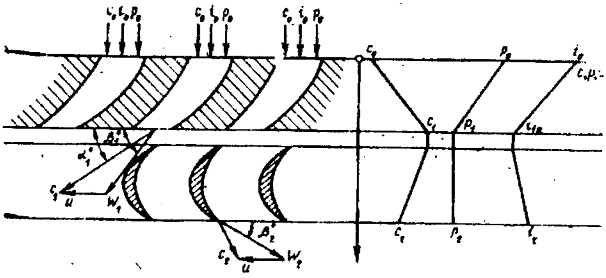
Битта босқичдан иборат бўлган турбина бир босқичли турбина дейилади. Бир неча босқичдан иборат бўлган турбиналар кўп босқичли турбиналар дейилади.

Актив турбина. Актив турбина кураклари панжарасининг каналларида буғ оқими бурилади. Буғ оқими ҳаракат миқдорининг ўзгариши куракларга ва айланувчан дискка ҳамда турбина валига таъсир этувчи актив кучга айланади (15.12-расм). Иш каналларида актив куч таъсир этувчи турбина актив турбина дейилади.





15.12-расм. Актив турбина схемаси.
1 – сопло; 2 – кураклар; 3 – диск; 4 – вал; 5 – тирқиш; Д – турбина босқичи диаметри.



15.13-расм. Актив турбинада буғ оқими схемаси

Параметрлари ро, со ва Io бўлган буғ сопло 1 га киради. Параметрлари p_1, c_1 ва i_1 бўлган буғ соплодан кураклар 2 нинг каналларига ўтади, бу ерда буғнинг босими ўзгармаслигича қолади. ($p_1 = p_2$), тезлиги эса c_1 дан c_2 гача пасаяди, яъни буғнинг кинетик энергияси диск 3 ни ва у билан боғлиқ бўлган турбина вали 1 ни айлантирувчи механик ишга айланади.

Турбина валига тушадиган куч буғ оқими бурилгандагина узатилгани туфайли, кураклар кучли букилган актив профилли бўлиши керак.

Кураклардан олдинги ва улардан кейинги буғ тезликларининг катталиги ва йўналишини кириш ва чиқиш тезлик учбурчаклари қуриб аниқлаш мумкин (15.13 - расм).

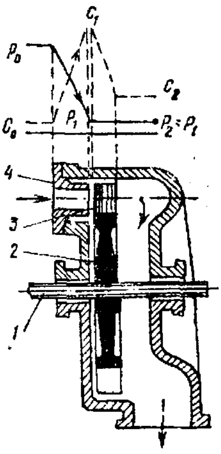
Жумладан, нисбий тезлик вектори ушбу геометрик айирмадан аниқланади:

$$w_1=C_1-U$$

Буғ нисбий тезлиги w_1 нинг йўналиши турбина юзаси билан b_{10} бурчак ҳосил қилади, у кириш бурчаги дейилади.

C_1 векторининг йўналиши сопло ўқи ва диск текислигиораси-даги бурчак α_1 билан аниқланади. Буғ каналдан ўтиб, диск текислигига b_{20} бурчак остида йўналган w_2 нисбий тезликка эга бўлади. Буғнинг ҳаракатидаги исрофлар туфайли буғнинг чиқишдаги тезлиги w_2 киришдаги тезлик w_1 дан кичик бўлади. Бу исрофлар куракнинг тезлик коэффициенти (одатда 0,93÷0,97) ψ билан ҳисобга олинади; бунда

$$W_2=\psi w$$

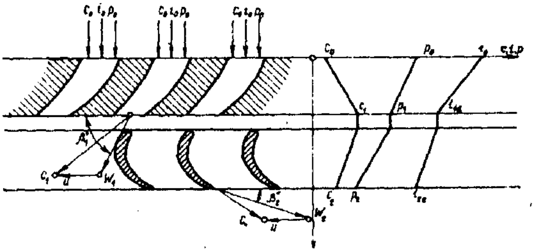


15.14-расм. Реактив турбина схемаси.

Буғнинг куракларидан чиқишдаги абсолют тезлиги c_2 ни w_2 ва U тезликларини геометрик йиғиндисидан аниқланади. Актив турбина-нинг ўзига хос хусусиятлари шундан иборатки, биринчидан, буғнинг кенгайиш жараёни мавжудлиги, яъни унинг босими фақат соплоларда пасаяди; иккинчидан, кураклн каналларда буғ босими ўзгармасдан қолади, буғнинг нисбий ва абсолют тезликлари эса камаяди.

Реактив турбина. 15.14 - расмда реактив турбина босқичи-нинг схемаси кўрсатилган. Турбинанинг сопло аппарати қўзғалмас кураклар 3 нинг ҳар қайси жуфти ҳосил қилган торайиб борадиган каналлар 4 дан иборат. Сопло аппаратида буғ бошланғич босими p_0 дан бирор оралиқ босим p_1 ($p_2<p_1<p_0$) гача қисман кенгаяди ва энергиянинг бир қисмигина кинетик энергияга айланади. Энергиянинг қолган қисми бевосита курак каналларида кинетик энергияга айланади, бунда буғ P_1 босимдан охирги P_2 босимгача кенгаяди ва натижада буғнинг нисбий тезлиги w_1 дан w_2 гача ортади. Реактив босқичнинг тавсифи реакция даражасидир (r), у иш ғилдирагининг куракларида вужудга келадиган иссиқлик пасайишининг барча босқичдаги иссик-лик пасайиш нисбати сифатида аниқланади. Замонавий буғ турбина-ларининг охирги босқичида r≅0,5 бўлади. Биринчи босқичлар учун r 0,1-0,2 атрофида танланади чунки бу ҳолда сопло ва кураклар профи-ли бир хил бўлади ва натижада турбиналарни тайёрлаш осонлашади.

Турбинани айлантирувчи куч буғ p_1 дан p_2 босимгача кенгаядиган, куракларн торайиб борувчи каналнинг реактив таъсирида вужудга келади. Босимнинг пасайиши натижасида буғнинг куракларга нисбатан оқиш тезлиги ортади. Бунда итариш кучи - реактив куч вужудга келади. Реактив кучнинг йўналиши оқиб чиқаётган буғ тезлигига тескари йўналган. Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, реактив турби-нанинг курагида реактив ишдан ташқари буғ оқимининг бурилиши билан боғлиқ бўлган актив иш ҳам бажарилади. 15.15-расмда реактив босқичнинг тезлик учбурчаклари кўрсатилган.



15.15-расм. Турбинанинг реактив босқичида буғ оқими схемаси.

Шуни алоҳида эътиборга олиш лозимки, буғнинг чиқишдаги тезлиги с-2 ҳар доим буғнинг куракка кириш тезлиги с-1 дан кичик бўлиши керак, фақат шу ҳолдагина турбина двигатель бўла олади, чунки 1 кг буғ, ишчи ғилдиракнинг кириш ва чиқишдаги кинетик энергиялари фарқи $\left(\frac{1}{2}(C_1^2 - C_2^2)\right)$ туфайлигина фойдали иш бажара олади.

Иккинчидан тезлик C_2 қанчалик кичик бўлса, турбина қуввати шунчалик юқори бўлади.

Буғ турбинасининг актив ва реактив босқичларини таққослаш шуни кўрсатадики, реактив босқичнинг асосий афзаллиги буғнинг кенгайиши натижасида курак бўшлиғини тўлиқ тўлдиришидир. Бунинг натижасида турбина реактив босқичининг қуввати актив босқичникига қараганда юқори бўлади. Реактив босқичнинг асосий камчилиги - турбина валига бўйлама кучларнинг таъсири актив босқичга қараганда юқори бўлади.

Назорат учун саволлар

1. Ренкин цикли.
2. Буғ-турбина қурилмасининг таркибий қисми.
3. Регенерация усулининг аҳамияти нимадан иборат?
4. Буғ оралиқ босқичда қиздириладиган буғ турбинали қурилма.
5. Буғ-турбинали қурилманинг термик Ф.И.К. қандай аниқланади?
6. Теплофикация нима?
7. Теплофикацион буғ турбинали қурилма қандай ишлайди?
8. КЭС ва ИЭМ.
9. Буғ турбинаси.
10. Актив турбина.
11. Реактив турбина.
12. Турбинанинг такомиллаштириш йўллари.

ЎН ОЛТИНЧИ БОБ

ГАЗ - ТУРБИНАЛИ ҚУРИЛМАЛАР ВА РЕАКТИВ ДВИГАТЕЛЛАР ЦИКЛИ

16.1. Газ - турбинали қурилмалар

Юқори босим ва температура остидаги ёниш маҳсулотлари энергиясини куракלар ёрдамида ротор валининг механик энергиясига айлантирувчи иссиқлик машинаси газ турбинаси дейилади.

Газ турбиналари ҳам буғ турбиналаридай бўлиб, фақат уларда буғ ўрнига ёниш маҳсулоти - тутун асосий иш жисми ҳисобланади.

ГТҚ газ - турбинаси-двигатель ва ёрдамчи қурилмалардан иборат. Двигатель таркибига турбина, ёниш камераси, компрессорлар, ёқилғи насоси, бак, электр генератори, регенератив иссиқлик алмаш-тиргичлар киради.

Ёрдамчи қурилмалар жумласига ГТҚ нинг қайси мақсадда ишлатилишига қараб қуйидагиларни киритиш мумкин: газ йўллари, қувурлар, ишга тушириш қурилмалари, мойлаш тизимлари, сув таъминлаш қурилмалари ва бошқалар. ГТҚ даги турбина, электр генератори, ҳаво компрессори ва ёқилғи насоси ягона умумий валда жой-лаштирилади. Охирги 20 - 30 йил мобайнида ГТҚ хусусан транспорт ва энергетикада кенг қўлланила бошланди. Энергетикада қўлланила-диган ГТҚлари электр энергияси етишмасдан қолганда, энергетик ти-зимда бузилишлар бўлганда истеъмолчиларни электр энергиясига бўлган талабини қондириш мақсадида ишлатилади. Бундай ГТҚ лар-нинг қуввати 1-100 МВт оралиғида бўлиб, йил мобайнида 1500 соат-дан ортиқ ишлатилмайди. Денгиз кемаларидаги ГТҚ асосий энергия манбаи ҳисобланади ва уларнинг қуввати 30 кВт дан 10 МВт гача бўлади.

Нефтни ҳайдашда, газ магистрали қувурларида, турли хил компрессорларни ишлатишда ГТҚ лари асосий механик энергия манбаи ҳисобланади. ГТҚ авиация транспортидаги турбореактив, турбовинтли реактив самолётларнинг асосий ва форсаж (французча forcer - жадаллаштирмоқ) двигателларида ҳам кенг тадбиқ этилган.

Ҳозирги замон ГТҚ нинг деярли ҳаммаси ёниш маҳсулотлари турбинанинг оқим қисми орқали ўтадиган схема бўйича ишлайди.

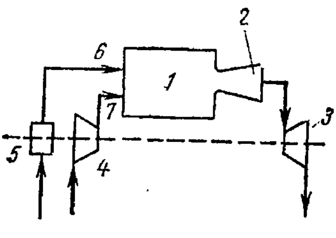
Шу сабабли газ турбиналарида ишлатиладиган ёқилғи таркибида зарарли аралашмалар миқдори жуда кам бўлиши керак. Бундай ёқилғилар жумласига табиий газ, яхши тозаланган сунъий газлар (домна гази, кокс гази, генератор гази) газ турбиналарида ишлатиладиган махсус суюқ ёқилғи (дизель, мотор ёқилғиси, соляр мойи) киради.

ГТҚ лар иш моддасини ёқиш услубига кўра v - const, p - const ва аралаш босқичли бўлади.

16.2. Иссиқлик p = const да узатиладиган ГТҚ.

16.1-расмда иссиқлик p = const да узатиладиган ГТҚ нинг соддалаштирилган схемаси кўрсатилган. Ҳаво компрессори 4 атмосфера ҳавосини сўриб олади, уни сиқади ва форсунка 7 орқали ёниш камераси 1 га ҳайдайди. Камерага форсунка 6 орқали насос 5 ёрдамида суюқ ёки газ ёқилғи ҳам берилади. Компрессорда сиқилган ҳаво қизиб, унинг температураси ёқилғининг ёниш температурасидан катта бўлади. Сиқилган юқори температурали ва босимли ҳавога ёқилғи пуркалганда кучли кимёвий реакция содир бўлади, яъни у ёнади. Бун-да ёниш ўзгармас босим остида рўй беради. Ёниш маҳсулотлари каме-радан сопло 2 га келиб, атмосфера босимигача кенгаяди. Соплодан чиққан ёниш маҳсулотлари газ турбинаси 2 нинг куракларида иш ба-жаради, сўнг атмосферага чиқариб юборилади.

Ёниш камерасида юқори калорияли ёқилғи ёнганда температу-ра 2000 °C га қадар кўтарилади. ГТҚ тайёрланадиган ҳозирги замон иссиқбардош пўлат ва қотишмалар 700 - 900 °C га чидайди. Шунинг учун камерадаги температурани 2000 0C дан 700 - 900 °C гача пасай-тириш учун унга кўп миқдорда совуқ ҳаво юборилади. Одатда ортиқча ҳаво коэффициенти авиацион қурилмалар учун $\alpha=4$ -5 ни, стационар қурилмалар учун эса $\alpha=6$-10 ни ташкил этади.

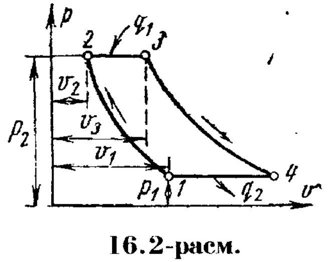


16.1-расм.

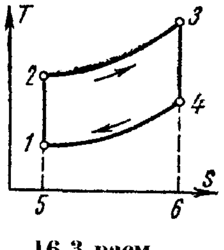
Бирламчи ҳаво машъала ўзагига, иккиламчи ҳаво ёниш камераси деворлари томон узатилади ва ёниш камерасининг охирида ёниш маҳсулотлари билан аралашади.

16.2- ва 16.3-расмларда иссиқлик p=const да узатиладиган ГТҚ нинг pv ва Ts-диаграммаларидаги идеал цикли тасвирланган.

Бу цикл иккита адиабата ва иккита изотермадан ташкил топган.



16.2-расм.



16.3-расм.

Бошланғич параметрлари P_1, v_1, T_1 бўлган ишчи жисм 1-2 адиабата бўйича 2 нуқтагача адиабатик сиқилади. Ишчи жисмга 2 нуқтадан бошлаб 2-3 изобара бўйича q_1 иссиқлик миқдори келтири-лади.

Кейин ишчи жисм 3-4 адиабата бўйича бошланғич босимгача кенгаяди ва 4-1 изобара бўйича бошланғич ҳолатга қайтади. Бунда q_2 иссиқлик чиқарилади.

Циклни тавсифловчи катталиклар: босимни компрессорда ортиш даражаси $\beta=P_2/P_1$ ва изобар кенгайиш даражаси $\rho=v_3/v_2$

Келтирилган иссиқлик миқдорини қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$q_1=c_p(T_3-T_2),$$

олиб кетилган иссиқлик миқдорини эса қуйидаги формуладан аниқлаймиз:

$$q_1=c_p(T_4-T_1)$$

Циклнинг термик Ф.И.К. қуйидагига тенг:

$$\eta_t=1-q_2/q_1=1-c_p(T_4-T_1)/c_p(T_3-T_2)=1-(T_4-T_1)/(T_3-T_2) \quad (16.1)$$

T_2, T_3 ва T_4 температураларни ишчи жисмнинг бошланғич температураси T1 орқали ифодалаймиз:

1 -2 адиабата учун

$$T_2/T_1=(P_2/P_1)^{(k-1)/k}=\beta^{(k-1)/k};$$
$$T_2=T_1\beta^{(k-1)/k};$$

2 - 3 изобара учун:

$$T_3/T_2=v_3/v_2=\rho; \quad T_3=T_2\rho; \quad T_3=T_1\beta^{(k-1)/k}\rho;$$

3 - 4 адиабата учун :

$$T_4/T_3=(P_4/P_3)^{(k-1)/k}=(P_1/P_2)^{(k-1)/k}=(P_1/P_1\beta)^{(k-1)/k}=1/\beta^{(k-1)/k};$$

$$T_4=T_1\beta^{(K-1)/K}\rho\frac{1}{\beta^{(K-1)/K}}=T_1\rho$$

Олинган температура қийматларини (16.1) формулага қўямиз:

$$\eta_t=1-\frac{T_1\rho-T_1}{T_1\beta^{(k-1)/k}\rho-T_1\beta^{(k-1)/k}}=1-\frac{\rho-1}{\beta^{(k-1)/k}(\rho-1)} \quad (16.2)$$

ёки

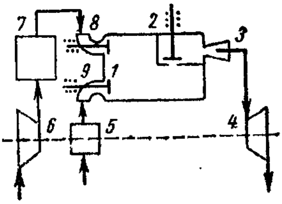
$$\eta_t = 1 - 1/\beta^{(k-1)/k} \qquad (16.3)$$

η_t учун келтирилган ифодалардан кўриниб турибдики, унинг катталиги босимнинг ортиш даражасига, шунингдек адиабата кўрсаткичига боғлиқдир, бу катталиклар ортиши билан η_t кўпаяди.

16.3. Иссиқлик v=const да узатиладиган ГТҚ

16.4 – расмда иссиқлик ўзгармас ҳажмда ёнадиган ГТҚ нинг схемаси кўрсатилган. Бу қурилмада компрессор 6 да сиқилган ҳаво ресивер (босимни ростлайдиган идиш) 7 дан ҳаво клапани 8 орқали ёниш камераси 1 га келади. Шу ерга ёқилғи насоси 5, ёқилғи клапани 9 орқали суюқ ёқилғини узатади. Ёниш маҳсулотлари сопло клапани 2 орқали ўтиб, сопло 3 да кенгаяди ва турбина ротори 4 ни айлантиради. Ёниш камерасига аввало маълум параметрли сиқилган ҳаво, кейин ёқилғи узатилади. Шунда ҳосил бўлган ши ёқилғисига электр учқуни узатилади ва иш ёқилғиси ёнади.

Бу ёниш натижасида ёниш камерасидаги босим кескин ортади. Иш ёқилғиси тўла (камида 95%) ёнгандан сўнг унинг температураси 2000°С кўтарилади. Шунда ёниш камерасидаги босим энг юқори қийматга етади. Ана шундагина 2 клапан очилади. Шу пайтда ёниш маҳсулотлари температурасини 700-9000С гача пасайтириш учун совуқ ҳаво узатилади.



16.4-расм.

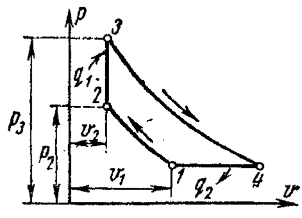
16.5 ва 16.6-расмларда шу циклнинг pv ва Ts диаграммалари тасвир-ланган. Бу циклда 1 - 2 адиабатик сиқилиш;

2-3 - ишчи жисмга иссиқлик келтириш;

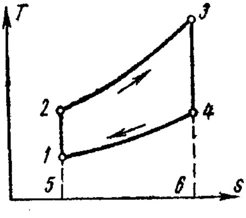
3-4 - адиабатик кенгайиш;

4-1 - бошланғич ҳолатга қайтиш.

Циклни тавсифловчи катталиклар: $\beta = P_2/P$ - босимни ортиш даражаси ва $\chi = P_3/P_2$ - босимни қўшимча ортиш даражаси.



16.5-расм.



16.6-расм.

Келтирилган иссиқлик қуйидаги формуладан:

$$q_1=c_v(T_3-T_2),$$

олиб кетилган иссиқлик эса қуйидаги формуладан аниқланади:

$$q_2'=c_p(T_4-T_1).$$

q_2 ва q_2 ларни қийматларини циклнинг термик Ф.И.К. формуласига қўямиз:

$$\eta_t=1-\frac{q_2}{q_1}=1-\frac{c_p(T_4-T_1)}{c_v(T_3-T_2)}=1-\frac{\kappa(T_4-T_1)}{T_3-T_2}. \qquad (16.4)$$

T_2, T_3 ва T_4 температураларни ишчи жисмнинг бошланғич температураси T1 орқали ифодалаймиз:

1-2 адиабата учун

$$T_2/T_1=(P_2/P_1)^{(\kappa-1)/\kappa}=\beta^{(\kappa-1)/\kappa};\quad T_2=T_1\beta^{(\kappa-1)/\kappa};$$

2 - 3 изохора учун

$$T_3/T_2=P_3/P_2=\chi;\quad T_3=T_2\chi \text{ ва } T_3=T_1\beta^{(\kappa-1)/\kappa}\chi;$$

3 - 4 адиабата учун

$$T_4/T_3=(P_4/P_3)^{(\kappa-1)/\kappa}=(P_1/P_1\beta\chi)^{(\kappa-1)/\kappa}=1/(\beta\chi)^{(\kappa-1)/\kappa};$$

$$T_4=T_3(1/\beta\chi)^{(\kappa-1)/\kappa}=T_1\beta^{(\kappa-1)/\kappa}\chi(1/\beta\chi)^{(\kappa-1)/\kappa} \quad \text{ва} \quad T_4=T_1\chi^{1/\kappa}.$$

Олинган қийматларни (16.4) формулага қўямиз.

У ҳолда

$$\eta_t=1-\frac{K(T_4-T_1)}{T_3-T_2}=1-\frac{\kappa(T_1\chi^{1/\kappa}-T_1)}{T_1\beta^{(\kappa-1)/\kappa}\chi-T_1\beta^{(\kappa-1)/\kappa}},$$

ёки

$$\eta_t=1-\left[K(\chi^{1/\kappa}-1)\right]/\left[\beta^{(\kappa-1)/\kappa}(\chi-1)\right] \qquad (16.5)$$

Ушбу ГТҚ нинг термик Ф.И.К. к, b ва с ларга боғлиқ бўлиб, бу катталиклар ортиши билан кўпаяди.

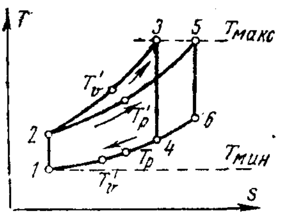
16.4. ГТҚ циклларини таққослаш

16.7 - расмда босимнинг ортиш даражалари бир хил ва максимал температуралари ҳам бир хил бўлган ГТҚ нинг циклари келтирилган.

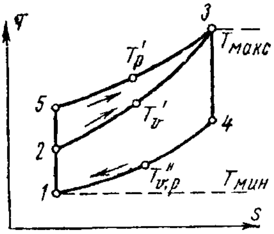
Расмдан кўриниб турибдики, n=const да иссиқлик келтириладиган ГТҚ циклининг Ф.И.К. юқори бўлар экан.

Ҳақиқатдан ҳам 16.7 - расмдан кўриниб турибдики, иссиқлик келтиришнинг ўртача интеграл температуралари $T_v' > T_p'$ ва иссиқлик олиб кетишнинг ўртача интеграл температуралари $T_v'' > T_p''$ бўлади, яъни:

$$\eta_{t изох} > \eta_{t изоб}.$$



16.7-расм.



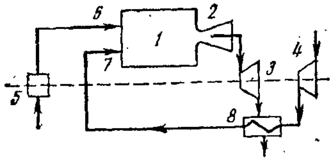
16.8-расм.

16.8 - расмда босимнинг ортиш даражалари ҳар хил ва максимал температуралари бир хил бўлган ГТҚ нинг цикллари тасвирланган. Бу расмдан кўриниб турибдики, $T'_v > T'_p$ ва $T''_v > T''_p$, яъни ўртача интеграл темпе-ратуралар бўйича аниқланган термик Ф.И.К. p = const да иссиқлик келтириладиган ГТҚ цикл учун катта бўлар экан:

$$\eta_{t изох} > \eta_{t изоб}.$$

16.5. Газ - турбинали қурилманинг Ф.И.К. ни ошириш йўллари

Иссиқлик p=const да узатиладиган ГТҚ нинг термик Ф.И.К. босимнинг ортиш даражаси b ошиши билан ортади. Лекин b ошиши билан газларнинг ёниш охиридаги температураси ҳам ортади, бунинг натижасида турбина куракларини ва сопло аппаратларини совитиш қийинлашади ва натижада улар тезда ишдан чиқади.



16.9-расм.

ГТҚ ларнинг Ф.И.К. ни ошириш учун уларнинг иш шароити қисман ўзгартирилади. Қурилмаларда иссиқликни регенерациялаш, ҳавони компрессорда кўп босқичли сиқиш, кўп босқичли ёниш каби усуллар қўлланилади. Бунинг натижасида ГТҚ лар мукаммаллашади ва унинг иқтисодий жиҳатдан тежамлилиги ортади.

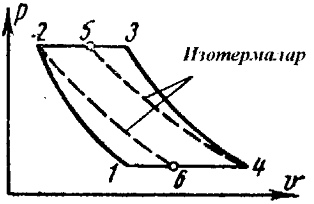
Регенерациялаш усулини ГТҚ да тадбиқ этилишини муфассал-роқ кўриб чиқайлик.

16.9 - расмда регенерацияли, иссиқлик p=const да узатиладиган ГТҚ тасвирланган.

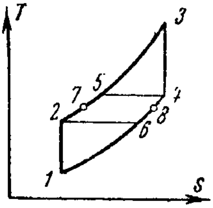
Турбокомпрессор 4 да сиқилган ҳаво регенератор 8 га юборилади, бу ерда ҳаво ёниш камераси 1 дан сопло 2 орқали турбина 3 да ишлаб бўлган газлардан p=const да иссиқлик олади.

Регенераторда иситилган ҳаво форсунка 7 орқали ёниш камераси 1 га юборилади. Шу ерга ёқилғи насоси 5 дан форсунка 6 орқали ёқилғи юборилади.

Шундай регенерацияли ГТҚ нинг идеал цикли 16.10 ва 16.11-расмда тасвирланган.



16.10-расм.



16.11-расм.

Бу расмларда: 1 -2 - ҳавони компрессорда адиабатик сиқилиши; 2 -5 - регенераторда иссиқликнинг изобарик келтирилиши; 3 -4 - турбина соплосида ёниш маҳсулотларининг адиабатик кенгайиши; 4 - 6 - регенераторда иссиқликни олиб кетилиши; 6 - 1 - регенератордан чиқишда газлардан иссиқликни изобарик олиб кетилиши.

Агар газларнинг регенераторда совиши унга кираётган ҳаво температурасигача бўлади деб фараз қилсак, яъни T_4 дан $T_6=T_2$ гача, у ҳолда регенерация тўлиқ бўлади.

Тўлиқ регенерацияли (T_4-T_6=T_5-T_2) циклнинг термик Ф.И.К. ни қуйидаги тенгламадан аниқлаймиз:

$$\eta_t = 1 - q_2/q_1$$

бу ерда

$$q_1 = c_p(T_3 - T_5) = c_p(T_3 - T_4),$$

$$q_1 = c_p(T_6 - T_1) = c_p(T_2 - T_1),$$

у ҳолда

$$\eta_t = 1 - [(T_2 - T_1)/(T_3 - T_4)]$$

Циклнинг асосий нуқталаридаги температуралар қуйидагича аниқланади:

$$T_2 = T_1(p_2/p_1)^{(k-1)/k} = T_1\beta^{(k-1)/k}\rho;$$

$$T_4 = T_1\rho$$

Циклнинг термик Ф.И.К.

$$\eta_{tpe2} = 1 - 1/\rho = 1 - T_1/T_4 \qquad \textbf{(16.6)}$$

демак, ушбу циклнинг термик Ф.И.К. газнинг бошланғич температурасига T_1 ва адиабатик кенгайиш охиридаги температурага T_4 боғлиқ бўлар экан.

Регенераторнинг ўлчамлари чекланганлиги ва иситилаётган ҳамда совутилаётган газ оқимлари охирги температуралари ўртасидаги фарқ борлиги туфайли тўлиқ регенерацияни амалга ошириб бўлмайди.

Бундай ҳолда регенераторда иситилаётган ҳавонинг температураси T_7 ($T_7>T_5$), совутилаётган газлар температураси эса T_8 ($T_8>T_6$) бўлади.

Шунинг учун циклнинг термик Ф.И.К. қуйидаги температура-лар нисбати билан аниқланадиган регенерация даражасига боғлиқ бўлади:

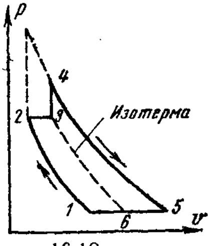
$$\sigma=(T_7-T_2)/(T_5-T_2)=(T_4-T_8)/(T_4-T_6)=(T_4-T_6)/(T_5-T_2) \qquad 16.7)$$

Тўлиқ регенерация бўлмаган, яъни s<1, ГТҚ циклининг термик Ф.И.К. қуйидагича аниқланади:

$$\eta_{tpe2}=1-[T_4-T_1-\sigma(T_5-T_2)]/[T_3-T_2-\sigma(T_5-T_2)] \qquad (16.8)$$

Регенерация даражаси иссиқлик алмашинув аппаратининг тузилишига (мукаммаллигига) боғлиқ бўлади.

Регенерацияни v=const да иссиқлик узатиладиган ГТҚ да ҳам амалга ошириш мумкин. Регенерация жараёни ИАА да ўзгармас босимда амалга оширилиши сабабли, бу ҳолда иссиқлик изобара бўйича ҳам, изохора бўйича ҳам келтирилади (16.12-расм).



16.12-расм.

Ушбу цикл қуйидаги жараёнлардан ташкил топган:

1 -2 -ҳавони компрессорда адиабатик сиқилиши;

2-3 -сиқилган ҳавони регенераторда p=const да иситилиши;

3-4 -ёниш камерасига n=const да иссиқлик келтирилиши;

4-5 -турбина соплоларида ёниш маҳсулотларини адиабатик кенгайиши;

5-6 -иссиқликни газлардан регенераторда p=const да олиб кетилиши;

6-1 - регенераторда p=const да иссиқликни газлардан ҳавога узатилиши.

Текширилаётган циклнинг термик Ф.И.К. қуйидагига тенг:

$$\eta_t=1-\frac{q_2}{q_1}=1-\frac{k[(T_5-T_1)-(T_3-T_2)]}{T_4-T_3} \qquad (16.9)$$

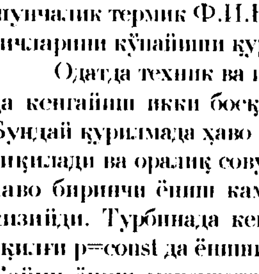
Иссиқлик n=const да узатиладиган ГТҚ циклининг термик Ф.И.К. ҳам иссиқликни регенерациялаш натижасида ортади. Ундан ташқари

ГТҚнинг тежамлилигини иссиқликни T=const да келтириш ва олиб кетиш орқали ҳам ошириш мумкин.

Лекин, амалда бундай қурилманинг мураккаблиги сабабли T=const да иссиқлик келтириш ва олиб кетиш жараёнини тўлиқ амалга ошириб бўлмайди. Компрессорларда ҳақиқий сиқиш жараёнини T=const га яқинлаштириш учун ҳаво оралиқ совутиш йўли билан бир неча марта сиқилади. ГТҚ да ҳам иссиқлик келтириш жараёнини T=const га яқинлаштириш учун ёниш маҳсулотлари турбинанинг алоҳида босқичларида кенгаядиган босқичли ёниш усули қўлланилади. Кенгайиш ва сиқиш босқичлари қанчалик кўп бўлса, шунчалик термик Ф.И.К. юқори бўлади. Бироқ, ёниш камералари ва совутгичларини кўпайиши қурилмани ниҳоятда мураккаблаштириб юборади.

Одатда техник ва иқтисодий мулоҳазалардан келиб чиққан ҳолда ГТҚ да кенгайиш икки босқичда , ва сиқиш уч босқичда амалга оширилади. Бундай қурилмада ҳаво компрессорнинг алоҳида босқичларида кетма - кет сиқилади ва оралиқ совутгичларда совутилади. Юқори босимгача сиқилган ҳаво биринчи ёниш камерасига келиб, у ерда максимал температурагача қизийди. Турбинада кенгайган газ иккинчи ёниш камерасига келади ва ёқилғи p=const да ёниши сабабли у яна максимал температурагача қизийди. Кейин ёниш маҳсулотлари турбинанинг иккинчи босқичида кенгаяди ва атмосферага чиқариб юборилади. Агар ГТҚ да иссиқлик регенерацияланса, у ҳолда сиқилган ҳаво ишлатилган газлар билан иситилиши мумкин.

16.13-расмда шундай ГТҚ нинг идеал цикли Ts - диаграммада тасвирланган.



16.13-расм.

Юқорида келтирилган усулларни қўллаш ГТҚ нинг термик Ф.И.К. ни сезиларли даражада орттиради. Юқорида кўриб ўтилган ГТҚ лар очиқ цикл бўйича ишлайди, яъни уларда ёниш маҳсулотлари турбинада ишлаб бўлгандан сўнг атмосферага чиқариб юборилади. Шундай қилиб циклда ишчи жисм ҳар доим ўзгариб туради. Шундай цикллар борки, уларнинг схемасида ишчи жисм ўзгармас миқдор-да циркуляцияланади. Бундай циклларни ёпиқ (берк) цикллар деб айтилади.

Бундай циклларда ишчи жисм сифатида тоза ҳаво, гелий, аргон, водород, фреон каби газлар ишлатилиши мумкин. Бундай ёпиқ жараён бир қанча афзалликларга эга. Унда арзон, қаттиқ ёқилғилардан фойдаланиш, юқори босимли ҳавони қўллаш мумкин. Ёпиқ схеманинг асосий камчилиги ИАА ларининг ўлчамлари катта бўлишидир.

16.6. Реактив двигателлар цикли

Ичидан катта тезликда заррачалар оқими учиб чиқиши ҳисобига

тортиш кучи ҳосил қила оладиган иссиқлик машинаси реактив двигатель дейилади. Иссиқлик, кимёвий, ядро, электр, қуёш энергияларининг таъсири натижасида иш жисми оқимининг кинетик энергияси пайдо бўлади.

Иккинчи жаҳон уруши охирларида авиацияда реактив двигателлар пайдо бўлди. Поршен двигателли самолётлар тезлигини 800 км/соат гача, реактив двигателли самолётлар эса ўз тезлигини 3000 км/соат гача ва ундан юқори оширишни мумкин.

Лекин, бу тезлик ҳам реактив самолётлар учун чегара эмас.

Реактив двигателларда атмосфера ҳавосининг ишлатилишига кўра, улар икки хил бўлади: атмосфера ҳавосидаги кислороддан оксидловчи сифатида фойдаланиладиган ҳаво - реактив двигателлар (ҲРД); оксидловчи кислород учувчи аппаратдаги махсус идишда сақланадиган ҳамма турдаги реактив двигателлар ракета двигателлари дейилади. Ракета двигателлари қаттиқ, суюқ ёқилғили ва кимёвий ҳамда ядро ракета двигателларига бўлинади.

Реактив двигателларни асосий кўрсаткичи бу тортиш кучидир. Тортиш кучи ёниш маҳсулотларининг соплода кескин кенгайиши ҳисобига газ зарралари оқимининг тезланиши билан атмосферага отилиб чиқиши натижасида пайдо бўлади. Тортиш кучи қуйидагига тенг:

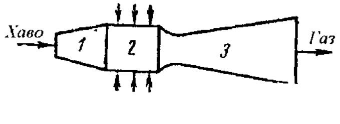
$$P=m(w_г-w_c)$$

Бунда m - 1 с да ҳосил бўлаётган ёниш маҳсулотлари массаси, кг/с; $w_г$ - газнинг соплодан оқиш тезлиги; w_c - самолётнинг учиш тезлиги.

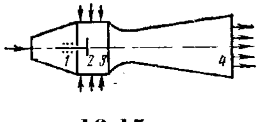
ҲРД лар иссиқлик узатиш жараёнига боғлиқ равишда ёниш p=const да бўладиган тўғри оқимли ва ёниш n=const да бўладиган пульсацияли двигателларга бўлинади. Улар ўз навбатида турбоком-прессорли ва компрессорсиз двигателларга бўлинади.

ҲРД ларнинг идеал циклари ГТҚ ларнинг иссиқлик n=const ва p=const да узатиладиган цикллари каби бўлади.

16.14 - расмда иссиқлик p=const да узатиладиган тўғри оқим-ли ҲРД ларнинг схемаси келтирилган.



16.14-расм.



16.15-расм.

Двигатель ҳаво сиқиладиган диффузор 1 дан, форсункалар орқали ёқилғи юбориладиган ёниш камераси 2 дан ташкил топган. Ёнувчан аралашма электр учқуни ёрдамида ёндирилади. Газлар реактив сопло 3 орқали чиқади, у ерда газларнинг босими атмосфера босимигача па-саяди.

Диффузор ҳосил қилаётган сиқиш даражаси катта бўлмайди. Шунинг учун двигателнинг Ф.И.К. фақат катта учиш тезликларда ан-ча юқори бўлади.Турбокомпрессорли реактив двигателларда (ТРД) ҳаво диффузорда сиқилгандан сўнг, турбокомпрессорда қўшимча сиқилади. Турбокомпрессор ёниш камерасидан кейин жойлашган газ турбинаси ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Бундай двигателларнинг унумдорлиги ХРД ларга нисбатан юқори бўлади.

Шунинг учун ТРД замонавий авиацияда кенг қўлланилмоқда. Умуман олганда, термодинамик нуқтаи назардан бу икки двигатель бир - биридан фарқ қилмайди.

Тўғри оқимли ХРД ва ТРД лар идеал цикли иссиқлик p=const да узатиладиган ГТҚ цикли кабидир. Демак, ХРДнинг термик Ф.И.К. қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta_t = 1 - 1/\beta^{(k-1)/k}$$

16.15-расмда пульсацияли, иссиқлик p= const да узатиладиган ХРД нинг схемаси тасвирланган. Диффузор 1 да сиқилган ҳаво ёниш камераси 3 га юборилади; бир вақтнинг ўзида у билан биргаликда ка-мерага ёқилғи ҳам юборилади. Камера тўлгандан сўнг, диффузор ва камерани ажратиб турувчи клапан 2 лар беркитилади ва ёнувчан ара-лашма электр учқуни ёрдамида ёндирилади. Ёниш жараёни тез кечади ва циклда изохора билан тасвирланади. Аралашма ёниб бўлгандан сўнг сопло клапани (расмда кўрсатилмаган) очилиб, сопло 4 да ёниш маҳсулотларининг кенгайиш жараёни рўй беради. Ишлаб бўлган газ-лар атмосферага чиқариб юборилади ва иш жараёни яна такрорлана-ди.

Бундай двигателнинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, ёниш камераси соплодан даврий равишда узиб қўйилиши сабабли пу-льсация кузатилади, шунинг учун бундай турдаги реактив двигателлар кўпинча пульсацияли деб айтилади.

Пульсацияли иссиқлик p=const да узатиладиган ХРД нинг идеал цикли иссиқлик изохора бўйича келтириладиган ГТҚ циклидан фарқ қилмайди. Шунинг учун циклнинг термик Ф.И.К. қуйидаги тенг-ламадан аниқланади:

$$\eta_t = 1 - k(\chi^{1/\chi} - 1)/[\beta^{(k-1)/k}(\chi - 1)].$$

Пульсацияли ХРД ларда ёниш охиридаги босим тўғри оқимли ХРД лардагига қараганда анча юқори, шунинг учун уларнинг Ф.И.К. ҳам катта бўлади.

Лекин, қурилманинг мураккаблиги ва даврий ишлаши сабабли, бундай двигателлар кенг тарқалмаган.

Назорат учун саволлар

1. Газ турбинали қурилма (ГТҚ) таркиби.
2. ГТҚ нинг қўлланилиши.
3. v=const да ишлайдиган ГТҚ лар.
4. p=const да ишлайдиган ГТҚ лар.
5. ГТҚ ларни таққослаш.
6. ГТҚ ларнинг термик Ф.И.К..
7. ГТҚ ларнинг термик Ф.И.К. ни ошириш йўллари.
8. Реактив двигатель.
9. Ҳаво реактив двигатели (ҲРД).
10. Пульсацияли ҲРД.
11. Тўғри оқимли ҲРД.
12. ҲРД нинг термик Ф.И.К..

ЎН ЕТТИНЧИ БОБ

ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРЛАР

17.1. Совуқ олишнинг назарий асослари

Жисмларни атроф - муҳит температурасидан паст температурагача совитиш тескари иссиқлик цикли бўйича ишлайдиган совитиш қурилмалари ёрдамида амалга оширилади. Сиқиш иши кенгайтириш ишидан ортиқ бўлган ва келтирилган иш ҳисобидан иссиқлик паст температурали манбадан юқори температурали манбага узатиладиган цикл тескари цикл деб аталишини эслатиб ўтамиз. Паст температуралар турли усуллар билан ҳосил қилинади. Баъзи моддалар фазавий ўтиш (эриш, буғланиш, сублимация) пайтида паст температураларда ҳам кўп миқдорда иссиқлик ютади. Бу эса улардан совуқ олиш учун фойдаланиш имконини беради.

Музни эритиш усулидан, t>0 0С температураларда совитишда фойдаланилади. Яна ҳам пастроқ температуралар олиш учун муз ёки қорга туз қўшилади. Масалан, муз билан натрий хлор аралашмаси (-21,2 °С гача) ва муз билан кальций хлор аралашмаси (- 55 0С гача) совитиш учун кенг қўлланилмоқда. Маълумки, буғ ҳосил бўлиши жараёни суюқликка иссиқлик келтирилганда рўй беради.

Совитиш учун атмосфера босимида қайнаш температураси ва буғ ҳосил қилиш иссиқлиги юқори бўлган суюқликлардан фойдаланилади. Суюқликни буғланиш жараёни буғли совитиш машиналарида кенг қўлланилади.

Моддаларни қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтмасдан газ ҳолатига ўтиши сублимация дейилади.

Совитиш учун сублимацияланадиган қаттиқ CO_2 ёки "қуруқ муз" қўлланилади. Қуруқ музнинг сублимация температураси Рат да - 78,9 °С га тенг. Маълумки, сиқилган газ изобарик кенгайганда унинг тем-пературасипасаяди, чунки ташқи иш ички энергиянинг камайиши ҳи-собига бажарилади. Бундай паст температуралар олиш усули ҳаволи совитиш машиналарида қўлланилади.

Реал газлар дросселланганда температураси пасаяди (Жоуль - Томсон эффекти).

Ушбу усул ҳам паст температуралар олишда кенг қўлланилиб келмоқда.

Юқорида келтирилган усуллардан ташқари француз муҳандиси ихтиро қилган "уюрмали таъсир" ва Пельтье ихтиро қилган термоэлектрик совитиш усуллари совитиш техникасида қўлланилиб келинмоқда.

Совитиш қурилмаларида иш жисми сифатида осон қайнайдиган суюқликлар: аммиак, фреон, карбонат ангидрид, сульфат ангидрид ва бошқалар ишлатилади. Улар совуқ элитгичлар дейилади. Совуқ элитгичлар-

га қўйиладиган талаблар тўрт гуруҳга бўлинади: термодинамик, физик - кимёвий, физиологик ва иқтисодий.

Термодинамик талаблар. Совуқ элитгичнинг совитиш унумдорлиги катта бўлиши, буғ ҳосил қилиш иссиқлиги юқори бўлиши, қотиш температураси паст, критик температураси юқори бўлиши керак.

Физик - кимёвий талаблар. Совуқ элитгичлр сувда ва ёғда эриши лозим, металл билан реакцияга киришмаслиги, парчаланмаслиги керак.

Физиологик талаблар. Совуқ элитгичлар заҳарли бўлмаслиги, нафасни қисмаслиги лозим.

Иқтисодий талаблар. Совуқ элитгичлар арзон ва танқис бўлмаслиги лозим.

Юқоридаги талабларга ҳар томонлама жавоб бера оладиган совуқ элитгичлар бугунги кунда топилгани йўқ. Шунинг учун совуқ элитгичлар вазифасига, ишлаш шароитига ва тузилишига қараб танланади.

Энг кўп ишлатиладиган совуқ элитгичлар аммиак ва фреонлардир. Аммиак NH3 яхши совуқ элитгичлари қаторига киради. t=20 °С да аммиакнинг тўйинган буғи босими 857 кПа ни ташкил этади, атмосфера босимида эса - 34 0С га тенг тўйиниш температураси мос келади. Аммиакнинг буғ ҳосил қилиш иссиқлиги анча катта. Аммиакнинг бу сифатлари саноат совитиш машиналарида ишлатиладиган совуқ элитгичлар ичида уни биринчи ўринга қўяди. Аммиакнинг заҳарлилиги унинг асосий камчилиги бўлганлигидан турмушда ишлатилади-ган совитиш машиналарида ишлатилмайди.

Совуқ элитгичлари сифатида фреонлар - энг оддий тўйинган углеводородларнинг (асосан метаннинг) фтор - хлорли ҳосилалари борган сари кўп ишлатилмоқда. Фреонларнинг бошқа совуқ элитгичларидан фарқи шуки, улар кимёвий турғун, заҳарсиз бўлиб (t<200 °С да), барча металларга нисбатан инертдир. Фреонлар ичида энг кўп тарқалгани фреон - 12 бўлиб, ундан уй - рўзғор совитгичларида фойдаланилади. Фреон - 12 ўзини техник хоссалари жиҳатидан аммиакка ўхшайди. Лекин уни буғ ҳосил қилиш иссиқлиги аммиакникидан ки-чикдир.

Атмосфера босимида фреон - 12 t = -29,8 °С да қайнайди.

Баъзи совуқ элитгичларнинг физик хоссалари 17.1-жадвалда келтирилган.

Совуқ элитгичларнинг физик хоссалари.

17.1 - жадвал.

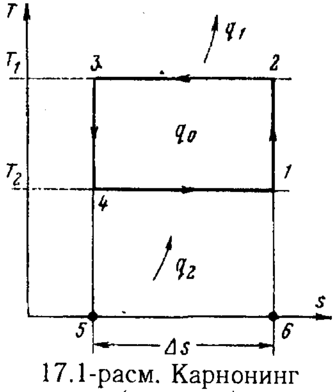
Совуқ элитгичнинг номи	Кимёвий формуласи	Нормал қайнаш температураси, °С	Критик температураси, °С	Қотиш температураси, °С
Сув	H_2O	+100,0	+374,15	. 0

Карбонат ангидрид	CO_2	-78,52	+31,0	-56,6
Аммиак	NH_3	-34,0	-132,4	-77,7
Фреон-12	CF_2Cl_2	-29,8	+112,04	-155,0
Фреон-22	CHF_2Cl_2	-40,8	+96,0	-160,0

Совитиш машинаси иссиқлик машинасидан фарқли равишда тескари цикл бўйича ишлайди. Карно циклига тескари бўлган цикл совитиш машиналарининг идеал цикли дейилади. Идеал циклга совитиш машиналарининг реал цикллари солиштирилиб, уларнинг такомиллашганлик даражаси аниқланади.

Карнонинг совитиш циклидан кўриниб турибдики, совитувчи моддага q2 иссиқлик совитилувчи жисмдан 1-4 жараёнда изотерма (T_2=const) бўйича узатилади (17.1-расм). q_2 иссиқлик миқдори 5-4-1-6-5 нуқталар билан чегараланган юзага сон қиймати жиҳатдан тенг. 2-3 жараёнда совитувчи моддадан 2-3-5-6-2 юза билан тасвирланган q_1 иссиқлик миқдори олиб кетилади. 4-2 жараёнда иш жисми адиабатик сиқилади ва 3-4 жараёнда адиабатик кенгаяди. Совитиш циклининг бажарган иши 1-2-3-4-1 нуқталар билан чегараланган юзага сон қиймати жиҳатдан тенг, яъни

$$A_ц=q_1-q_2 \qquad (17.1)$$



17.1-расм. Карнонинг тескари (совитиш) цикли

Совитиш машиналарининг мукаммаллиги совитиш коэффициенти ε орқали аниқланади:

$$ε=q_2/A_ц = T_2/(T_1-T_2) \qquad (17.2)$$

Демак, қанча кўп иссиқлик q_2 олиниб ва бунда шунча кам механик иш сарфланса ёки ε қанча катта бўлса, шунчалик совитиш цикли такомиллашган бўлади.

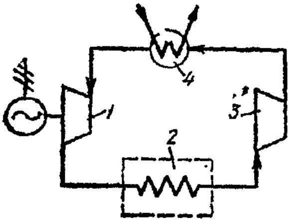
Совитиш қурилмалари совитувчи модда турига қараб иккита асосий гуруҳга бўлинади:

1. Газли (жумладан, ҳаволи) совитиш қурилмалари;
2. Буғли совитиш қурилмалари.

Буғли совитиш қурилмалари ўз навбатида буғкомпрессорли, буғэжекторли ва абсорбцион қурилмаларга бўлинади.

Термоэлектрик ва термомагнит совитиш машиналари алоҳида гуруҳни ташкил этади. Бундай турдаги совитиш машиналарида совитувчи модда бўлмайди.

17.2. Ҳаволи совитиш қурилмаси



17.2-расм.

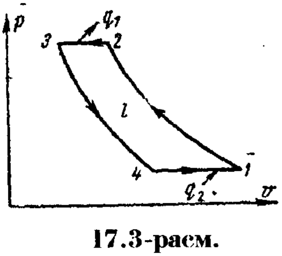
Ҳаволи совитиш қурилмаси амалда ишлайган совитиш қурилмаси турларидан энг биринчиси бўлган. Бундай қурилмани америкалик муҳандис Гарри 1845 йили ихтиро қилган.

Ҳаволи совитиш қурилмасининг схемаси 17.2-расмда кўрсатилган.

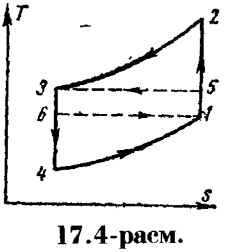
Ҳаво детандер 1 да p_1 босимдан p_2 босимгача кенгайиб иш бажаради; бу ишни детандер ташқи истеъмолчига (масалан, электр генера-торига) беради.

Детандерда адиабатик кенгайиш натижасида Т3 температурадан T_4 температурагача (≈-60 0С) совитилган ҳаво совитиладиган хона 2 га кириб, ундан иссиқлик олади. Совитиладиган хонада ҳавога иссиқлик бериш жараёни ўзгармас ҳаво босимида (p_2=const) содир бўлади. Ҳаво совитиладиган хонадан чиққанидан кейин компрессор 3 га юборилади, бу ерда ҳаво босими p_2 дан p_1 гача оширилади (бунда ҳаво температураси T_3 дан T_3 гача ортади). Компрессорда сиқилган ҳаво совитгич 4 га киради. Совитгич иссиқлик алмаштиргич бўлиб, унда совитувчи сувга иссиқлик бериши натижасида ҳаво температураси пасаяди. Совитгичда жараён ўзгармас ҳаво босимида (p_1=const) содир бўлади.

Ҳаволи совитиш қурилмаси циклининг pv - ва Ts - диаграммалари 17.3 ва 17.4-расмларда келтирилган.



17.3-расм.



17.4-расм.

Бу ерда 1-2 - компрессорда сиқиш жараёни; 2-3 - ҳавони совиткичда изобарик совитиш жараёни; 3-4 - ҳавони детандерда адиабатик кенгайиши; 4-1 - совитиладиган хонадан изобарик иссиқ-лик олиш жараёни. Бу диаграммада 1-2-3 - сиқиш чизиғи, 3-4-1 - кенгайиш чизиғи.

17.4 - расмдаги T_s - диаграммада циклда сарфланган Ац ни 1-2-3-4-1 - юза билан тасвирланади.

Циклни амалга ошириш учун сарфланган иш q_1 ва q_2 иссиқликлар фарқига тенг.

Ҳавони ўзгармас сиғимли идеал газ деб ҳисоблаб,

$$q_1 = c_p(T_2 - T_3), \quad q_2 = c_p(T_1 - T_4),$$

$$Aц = q_1 - q_2 = c_p(T_2 - T_3) - c_p(T_1 - T_4)$$

ларга эга бўламиз.

У ҳолда циклнинг совитиш коэффициенти қуйидагига тенг бўлади:

$$\varepsilon = \frac{q}{Aц} = \frac{T_1 - T_4}{(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)} = \frac{1}{[(T_2 - T_3)/(T_1 - T_4)] - 1} \qquad (17.2)$$

1 -2 ва 3 -4 адиабат жараёнлардан иборат:

$$T_2/T_1 = (p_2 - p_1)^{(\varkappa-1/\varkappa)} \text{ ва } T_3/T_4 = (p_3 - p_4)^{(\varkappa-1/\varkappa)}$$

лекин

$p_2 = p_3$ ва $p_1 = p_4$, у ҳолда $T_2/T_1 = T_3/T_4$.

ёки

$$(T_2 - T_3)/(T_1 - T_4) = T_2/T_1 = T_3/T_4.$$

Шундай қилиб

$$\varepsilon = \frac{1}{(T_2/T_1) - 1} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}, \qquad (17.3)$$

бунда T_1 - совитиладиган хона температураси ёки компрессорга сўрилаётган ҳаво температураси; T_2 - сиқилган ҳаво температураси.

Ташқи кўринишидан (17.3) тенглама Карно қайтар циклининг совитиш коэффициенти тенгламаси (17.1) га мос келади. Лекин бу ўхшашлик ташқаридан шундай кўринади.

Температуранинг бир хил оралиғининг ўзида (17.4-расм) амалга ошириладиган қайтар Карно цикли (1 - 5 - 3 - 6 - 1) учун совитиш коэффициентини аниқлаймиз.

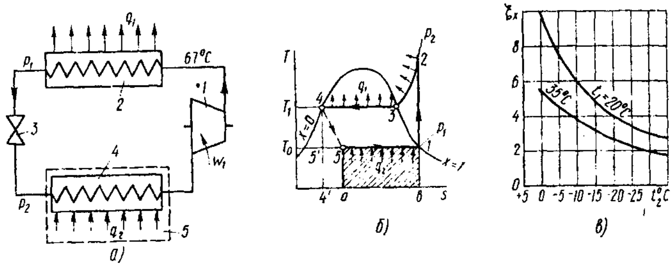
$$\varepsilon_K = q_2/l = q_2/(q_1 - q_2) = \frac{T_1}{T_3 - T_1},$$

$T_3 < T_2$ сабабли, $\varepsilon_к > \varepsilon$ бўлади.

17.3. Буғ-компрессион совитиш қурилмаси

Совитувчи модда сифатида бирор суюқликнинг, яъни атмосфера босимида қайнаш температураси $t \le 0$ °С бўлган суюқликнинг нам буғидан фойдаланилса совитиш қурилмасида иссиқлик бериш ва олишни изотермалар бўйича амалга ошириш мумкин. Бу маънода мазкур цикл Карно циклига яқинлашади ва шу сабабли бундай қурилманинг самарадорлиги энг юқори ва шу сабабли улар энг кўп тарқалган.

Эфир буғлари билан ишлайдиган буғ - компрессион совитиш қурилмалари даставвал 1834 йилдаёқ яратилган эди. Сўнгра бу хил қурилмаларда совитувчи модда сифатида метил эфир ва сульфат ангид-риддан фойдаланиладиган бўлди. Немис муҳандиси К. Линде 1874 йилда аммиакли, 1881 йилда карбонат ангидридли буғ - компрессион қурилмани яратди. XX асрнинг 30 - йилларида бундай қурилмаларда фреонлар совитувчи модда сифатида ишлатила бошланди. Шу вақтларгача бундай қурилмаларда поршенли компрессорлар ишлатилди, сўнгра ротацион, винтли ва турбокомпрессорлар ишлатила бошланди. 17.5-расмда буғ - компрессион совитиш қурилмасининг схемаси, цикли ва совитиш коэффициентининг ўзгариши кўрсатилган.



17.5-расм. Буғ - компрессион совитиш қурилмасининг схемаси, цикли ва совитиш коэффициентининг ўзгариши.
а - қурилма схемаси; б - циклнинг Ts - диаграммаси;
в - бир босқичли аммиакли қурилмада ε ни t_1 ва t_2 га боғлиқ равишда ўзгариши.

Совитувчи модданинг тўйинган буғи компрессор 1 да сиқилади (17.5 - расм, а) ва конденсатор 2 га узатилади, у ерда q_1 иссиқликни атроф - муҳитга бериб, қисман конденсацияланади. Ушбу, суюқлик - буғ аралашмаси ростловчи (дросселли) вентиль 3 га юборилади, у ерда унинг босими ва температураси пасаяди. Қуруқлик даражаси юқори бўлган паст температурали нам буғ совитиш хонаси 5 да жойлашган буғлатгич 4 га келади ва хонанинг q_2 иссиқлиги ҳисобидан буғланади.

Термодинамик цикл (17.5-расм, б) қуйидаги жараёнлардан ташкил

топган: 1 - 2 - совитувчи модданинг компрессорда адиабатик сиқилиши, 2 - 3 - 4 - q_1 иссиқликни атроф - муҳитга олиб кетили-ши ва конденсацияланиш, 4 - 5 - дросселлаш жараёни, 5 - 1 - буғлатгичда олинган q_2 - иссиқлик ҳисобига совитувчи модданинг буғланиши.

Буғ компрессион қурилманинг совитиш коэффициенти қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\varepsilon = q_2/A_ц = (h_1 - h_5)/(h_2 - h_1) \qquad (17.4)$$

(17.4) формуладан кўриниб турибдики, совитиш хонасидаги температура қанчалик катта ва совитувчи муҳит температураси шунчалик паст бўлса ε шунчалик катта бўлади.

Ҳозирги вақтда буғ - компрессион совитиш қурилмалари мўътадил совитиш температуралари соҳасида кўпчилик ҳолларда, бошқа совитиш қурилмаларига қараганда энг самарали қурилмалар бўлиб қолди, улардан саноат ва турмушда кенг фойдаланилади.

17.4. Буғ - эжекторли совитиш қурилмаси

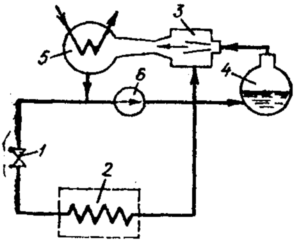
Буғ-эжекторли совитиш қурилмаси цикли, буғ - компрессион қурилма циклига ўхшаш, нам буғ тарзидаги совитиш моддаси воситасида амалга оширилади. Улар орасидаги асосий фарқ қуйидагилардан иборат: агар буғ - компрессион қурилма циклида совитилаётган ҳажмдан чиққан буғ компрессор ёрдамида сиқилса, буғ-эжекторли қурилмада бу мақсадда буғ-эжектордан фойдаланилади. Эжектор - газ, буғ ва суюқликларни сиқувчи ва ҳаракатлантирувчи қурилма. Буғни эжектор ёрдамида сиқиш учун қозонда ҳосил бўладиган буғнинг кинетик энергиясидан фойдаланилади.

Компрессор ўрнига буғ-эжектори ишлатилишининг сабаби ни-ма? Совитиш қурилмаларида унча паст бўлмаган, тахминан 3 дан 100С гача бўлган температуралар олиш учун совитувчи модда сифатида сув буғидан фойдаланиш мумкин. Лекин 0^0С га яқин температураларда буғнинг солиштирма ҳажми жуда катта бўлади (масалан, $t=5^0$С да v'' =147,2 м/кг бўлади).

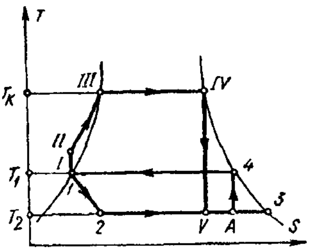
Зичлиги бунчалик кичик буғни сиқувчи поршенли компрессор жуда катта машина бўлади. Худди шунинг учун сув буғи билан ишлайдиган совитиш қурилмаси циклида, унча такомиллашган бўлмасада, анча ихчам аппарат буғ эжектори ишлатилади ва унда параметрлари паст, арзон буғдан фойдаланилади.

Буғ - эжекторли қурилма совитиш машиналарининг энг эски турларидан биридир.

Буғ - эжекторли совитиш қурилмасининг схемаси ва цикли 17.6 ва 17.7 - расмда тасвирланган.



17.6-расм.



17.7-расм.

Тўйинган сув дросселлаш вентили 1 да p_1 босимдан p_2 босимгача кенгайганда ҳосил бўлган сув буғи совитиладиган ҳажмда жойланган буғлатгич 2 га киради.

Қуруқлик даражаси юқори бўлган буғ p_2 босимда буғлатгичдан буғ эжекторининг аралаштириш камераси 3 га юборилади.

Эжектор соплосига қозон 4 дан $p_қ$ босимли буғ берилади. Буғлатгичдан эжекторнинг аралаштирувчи камерасига бериладиган буғ ва қозонда эжектор соплосига келадиган буғ сарфлари шундай танланадики, буғнинг эжектор диффузоридаги чиқишдаги босими   га тенг бўлади. Тўйинган қуруқ буғ эжектордан конденсатор 5 га юборилади. Бу ерда у ўз иссиқлигини совитувчи сувга бериб конденсацияланади. p_1 босимда конденсатордан чиқаётган конденсат оқими икки қисмга бўлинади. Сувнинг кўп қисми совитиш контурига, дросселлаш вентили 1 га, оз қисми эса насос 6 га юборилади, насосда сув босими $p_қ$ гача ортади. Насос 6 сувни қозонга юборади. Қозонга бериладиган иссиқ-лик ҳисобига буғ ҳосил бўлади.

Буғ - эжекторли қурилма цикли 17.7 - расмдаги Ts - диаграммада тасвирланган. Бу диаграммада 1 -2 - чизиқ тўйинган сувнинг редукцион вентилда адиабатик дросселланиш жараёни, 2 - 3 - чизиқ эса буғлатгичдаги изобар - изотермик жараённи ифодалайди.

Шу диаграмманинг ўзида буғнинг "қозон - эжектор - конденсатор - қозон" контурида айланаётган қисми бажарадиган цикл тасвирланган.

Бу циклнинг тасвирланиши шартли эканлигини эсдан чиқармаслик керак, чунки - қурилманинг иккала контурининг ҳар бирида буғ сарфи турлича бўлади. Ts - диаграммада эса иккала цикл 1 кг буғ ҳисобидан тасвирланган.

Бу ерда I - II насосда сув босимининг ортиш жараёни;

II - III - IV $p_қ$ - const бўйича қозонга иссиқлик бериш жараёни, IV - V - эжектор соплосидан буғнинг кенгайиш жараёни. Соплода буғ p_2 босимгача (V нуқта) кенгаядида, буғлаткичдан эжекторга шу босимнинг ўзида келадиган (3 - нуқта) буғ билан аралашади. Нам буғнинг тўйинган қуруқ буғ билан аралашуви натижасида қуруқлик даражаси V ва 3 орасидаги буғ ҳосил бўлади - А нуқта.

Қурилма циклида четдан иш киритилмаганлиги, унинг ўрнига эса қозонга иссиқлик берилиши туфайли бундай қурилма циклининг самарадорлиги қуйидаги формуладан аниқланадиган иссиқликдан фойдаланиш коэффициенти х билан аниқланади:

$$\xi = \frac{q_2}{q_к}, \qquad (17.5)$$

бу ерда q_2 - совитилаётган ҳажмдан олинадиган иссиқлик, qк - қозонга бериладиган иссиқлик.

(17.5) формулани иш моддаси энтальпиялари орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\xi = \frac{h_3 - h_2}{(h_{II'} - h_l) \cdot g} \qquad (17.6)$$

бу ерда g орқали қозонга эжектор соплосига бериладиган рқ босимли буғ миқдорининг буғлатгичдан аралашиш камерасига кирадиган буғ миқдорига нисбатан берилган.

17.5. Иссиқлик насосининг ишлаш принципи

Ҳар қандай совитиш установкасининг ишлаш жараёнида совитиладиган ҳажмдан иссиқлик олиниб, бошқа муҳитга берилади. Бинобарин, совитиш циклининг амалга оширилиши натижаси иссиқлик берувчининг совишидангина эмас, балки иссиқлик қабул қилувчининг исишидан ҳам иборатдир.

Бу нарса 1852 йилда Кельвинга совитиш циклидан биноларни иситиш учун фойдаланиш, яъни иссиқлик насоси деб айтиладиган насосни яратиш ҳақида таклиф киритиш имконини берди.

Одатда, иситиладиган хажмга иссиқлик бериш учун фойдала-ниладиган совитиш установкаси иссиқлик насоси деб айтилади. Бу турдаги установканинг иссиқлик насоси деб аталишига сабаб шуки, у иссиқликни совуқ манбадан қизиган манбага "ҳайдайди"; қизиган манбага совитиш манбаидан олинган иссиқлик q_2 ва совитиш циклини амалга ошириш учун ташқаридан келтирилган иш lц йиғиндисига тенг иссиқлик q_1 берилади. Аслида ҳар қандай совитиш установкаси иссиқлик насосидир, лекин бу термин, одатда, асосий вазифаси иссиқлик қабул қилувчиларни иситишдан иборат установкаларни белгилаш учун қўлланилади.

Иссиқлик насосининг самарадорлиги иситиш коэффициенти деб аталадиган коэффициентнинг қиймати билан баҳоланади; еисит коэффициент иситилаётган ҳажмга бериладиган иссиқлик миқдори q_1 ни циклда бажарилган иш lц миқдорига нисбатидан иборат:

$$\varepsilon_{исит} = \frac{q_1}{l_ц} \qquad (17.7)$$

Иситиш коэффициенти $\varepsilon_{исит}$ билан шу установканинг совитиш коэффициенти ε ни бир-бирига боғлаш қийин эмас; қизиган манбага бериладиган иссиқлик:

$$q_1 = q_2 + lц.$$

бўлганлигини ҳисобга олиб

$$\varepsilon_{исит} = \varepsilon + 1 \qquad (17.8)$$

ни ҳосил қиламиз.

Бу муносабатдан совитиш коэффициенти қанчалик катта бўлса, циклнинг иситиш коэффициенти ҳам шунчалик катта бўлади, деган хулоса келиб чиқади. Ҳар қандай совитиш циклини (шу жумладан установканинг иссиқлик насоси сифатида фойдаланиладиган циклини ҳам) амалга оширишда ташқи манбадан келтириладиган иш L*ц сарфланади. Бу иш совитиш муҳитини сиқадиган компрессор ёки бошқа аппаратни юргизишга сарфланади. Бу ишнинг ҳаммасини иссиқликка айлантириш (масалан, электр иситкичда) ва бу иссиқликдан биноларни иситишда фойдаланиш мумкин, албатта. Иссиқлик насосининг бошқа исталган иситиш қурилмасига нисбатан афзаллиги шундан иборатки, сарфланадиган энергия миқдори бир хил (lц) бўлгани ҳолда иссиқлик насоси ёрдамида иситиладиган хонага бериладиган иссиқлик миқдори исталган бошқа усулда бериладиган иссиқлик миқдорига қараганда доимо кўп (lц+q2) бўлади (масалан, электр энергияси ёрдамида иситилганда иситиладиган хажмга бериладиган иссиқлик миқдори lц га тенг бўлади). Бу ҳол таажжубланарли эмас: агар электр иситкич фақат ишни иссиқликка айлантирса, иссиқлик насоси шу иш миқдорининг ўзи ёрдамида паст температуравий потенциалли иссиқликка айлантиради - иссиқликни бир муҳитдан бошқа муҳитга "ҳайдайди".

Иссиқлик насосида ҳамма вақт $q_1 > l_ц$ бўлгани учун, бинобарин, доимо $\varepsilon_{исит} > 1$ бўлади; бу (17.8) тенгламадан ҳам кўриниб турибди.

Одатда, иссиқлик насоси қайтар циклари иситиш коэффици-ентининг қиймати бирдан анча катта бўлади. Масалан, иссиқлик насосида Карно қайтар цикли амалга оширилаётган бўлса, у ҳолда совитилаётган муҳит температураси t_2=0 °С, иситилаётган хона температураси эса t_1=25°С бўлса, бундай насоснинг (17.8) муносабат ёрдамида аниқланадиган иситиш коэффициенти тенглама:

$$\varepsilon_{исит} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} + 1 = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

ни ҳисобга олсак,

$$\varepsilon_{исит} = \frac{25 + 273{,}15}{25} = 11{,}9$$

бўлади, яъни бу ҳолда иситиладиган хонага бериладиган иссиқлик миқдори циклда сарфланадиган иш қийматидан 11,9 баробар ортиқ бўлади.

Совитиш установкаларининг Карно циклига қараганда кам такомиллашган циклидан фойдаланиладиган иссиқлик насосларининг иситиш коэффициентлари каттароқ бўлади.

Реал установкаларда $\varepsilon_{исит}$ нинг камайишига установканинг турли элементларида жараёнларнинг қайтмаслиги натижасида албатта рўй берадиган исрофгарчиликлар ҳам сабаб бўлади. Реал иссиқлик насосларининг иситиш коэффициенти 3,4 ва ундан ортиқ бўлиши мумкин.

Аммиакли буғ-компрессион иссиқлик насосли қурилмада биринчи марта 1930 йилда бинони иситиш учун фойдаланилган эди. Ўша вақтдан бери жуда кўп иссиқлик насослари қурилди. Иссиқлик насосларидан бундан кейин кенг кўламда фойдаланилади, дейишга тўла асос бор.

Иссиқлик насосларида ҳаволи, буғ-компрессион ва термоэлектрик совитиш установкалари циклларидан фойдаланилади.

Шуни эслатиб ўтиш керакки, совитиш установкаларидан иссиқлик ва совуқликни биргаликда ҳосил қилиш учун ҳам фойдаланиш мумкин. Масалан, сунъий музли яхмалакка мўлжалланган аммиакли совитиш установкаси 1943 йилдаёқ қурилган эди; бунда шу установка конденсаторини совитган ва бунинг ҳисобига сезиларли даражада иситган сув шаҳар иситиш тармоғига юборилган. Комбинациялашган бундай установкаларнинг, шубҳасизки, истиқболи порлоқ.

Назорат учун саволлар

1. Совуқ олиш усулларини келтиринг.
2. Совитувчи моддаларга қандай талаблар қўйилади?
3. Тескари Карно цикли.
4. Совитиш коэффициенти.
5. Совитиш машиналари турлари
6. Ҳаволи совитиш қурилмаси қандай ишлайди?
7. Буғ - компрессион совитиш қурилмаси қандай ишлайди?
8. Фреоннинг афзалликлари нимадан иборат?
9. Аммиакнинг афзалликлари нимадан иборат?
10. Буғ - эжекторли совитиш қурилмаси.
11. Иссиқликдан фойдаланиш коэффициенти.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1980, - 552 с.

2. Баскаков А.П., Берг Б.В. и др. Учебное пособие. Теплотехника - М.: "Энергоиздат", 1982 - 262 с.

3. Пащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебное пособие. - М: Высшая школа, 1980 - 469 с.

4. Кириллин В.А., Сичев В.В., Шейндлин А.Е. Техникавий термодинамика, Дарслик - Т. "Ўқитувчи", 1980, 440 б.

5. Немцев З., Арсеньев Г.В. Теплоэнергетические установки и тепло-снабжение: Учебное пособие. - М.: "Энергоиздат", 1982, - 432 с.

6. Лариков Н.Н. Теплотехника: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1985, - 432 с.

7. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика, Учебное пособие для Втузов. М.: Высшая школа. 2000 - 261 с.

8. Нурматов Ж. ва бошқалар. Иссиқлик техникаси. Олий ўқув юрт-лари талабалари учун ўқув қўлланма.-Т.: "Ўқитувчи", 1998,- 256 б.

9. Kern D.Z., Kraus A.D. Extended surface Heat Transfer. London. 1987, 464 p.

10. Spolding D.B., patankar S.V. Heat and mass Transfer in boundary layers. London. Edward Arnolds, 1989, 400 p.

11. Truesdell C. Rational thermodynamics. N.Y. Mc.Graw. - Hili. 1992, 208 p.

12. Еремкин А.И. Королева Т.М. Тепловой режим зданий. Учебное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2000, - 368 с.

МУНДАРИЖА

СЎЗ БОШИ.....3
Асосий шартли белгилар.....4
Биринчи қисм.....5
Техникавий термодинамика.....5
Биринчи боб.....5
ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ.....5
1.1. Термодинамика ва унинг услуби.....5
1.2. Ҳолат параметрлари.....5
Температура.....6
Абсолют босим.....7
Ҳажм.....7
Зичлик.....7
1.3. Термодинамикавий жараён.....7
1.4. Идеал газ. Идеал газ қонунлари.....8
1.5. Газлар аралашмаси.....11
Аралашма таркибини ифодалаш усуллари.....12
1.6. Иссиқлик сиғими.....14
Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғими.....14
Массавий, моляр ва ҳажмий иссиқлик сиғими.....15
Иссиқлик сиғимининг жараёнга боғлиқлиги.....16
1.7. Реал газлар.....18
Иккинчи боб.....21
ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ.....21
2.1. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни.....21
2.2. Ички энергия.....21
2.3. Газнинг кенгайишида бажарилган иш.....23
2.4. Термодинамика биринчи қонунининг тенгламаси.....25
2.5. Энтальпия.....26
2.6. Қайтар ва қайтмас жараёнлар.....28
2.7. Мувозанатли ва мувозанатсиз жараёнлар.....28
Учинчи боб.....30
ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ.....30
3.1. Айланма цикл.....30
3.2. Карно цикли. Карно теоремаси.....31
3.3. Энтропия.....34
3.4. Термодинамика иккинчи қонунининг талқини.....36
3.5. Эксергия.....37
Тўртинчи боб.....42
ИДЕАЛ ГАЗЛАРНИНГ ТЕРМОДИНАМИК ЖАРАЁНЛАРИ.....42
4.1. Термодинамик жараёнларни ўрганиш йўллари.....42
4.2. Изохорик жараён.....43

4.3. Изобарик жараён...45
4.4. Изотермик жараён...47
4.5. Адиабатик жараён..48
4.6. Политроп жараён..50
Бешинчи боб..55
СУВ БУҒИ..55
5.1. Асосий тушунчалар...55
5.2. Сув буғининг pv - диаграммаси...56
5.3. Суюқлик ва қуруқ тўйинган буғнинг асосий параметрлари. Буғҳосил қилиш иссиқлиги...58
5.4. Нам тўйинган сув буғининг асосий параметрлари.....................59
5.5. Ўта қизиган буғнинг асосий параметрлари...................................60
5.6. Сув ва сув буғининг энтропияси...61
5.7. Сув буғининг жадвали...62
5.8. Сув буғининг hs-диаграммаси...62
5.9. Сув буғи ҳолатининг ўзгаришидаги асосий термодинамик жараёнлар...64
Олтинчи боб..69
Нам ҳаво..69
6.1. Асосий тушунчалар...69
6.2. Нам ҳавонинг зичлиги, газ доимийси ва энтальпияси.................72
6.3. Нам ҳавонинг hd - диаграммаси...73
Еттинчи боб...76
Оқим термодинамикаси...76
7.1. Оқим учун термодинамиканинг биринчи қонуни........................76
7.2. Оқим бажарадиган иш...77
7.3. Газнинг оқиб чиқиш тезлиги ва сарфи...79
7.4. Газ оқимини дросселлаш..84
ИККИНЧИ ҚИСМ...91
ИССИҚЛИК УЗАТИШ АСОСЛАРИ...91
Саккизинчи боб..92
ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК..92
8.1. Асосий тушунчалар...92
8.2. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси. Чегара шартлари..95
8.3. Чегара шартларининг биринчи турида стационар иссиқлик ўтказувчанлик. Ясси бир қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги...98
8.3.1. Ясси кўп қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги..........100
8.3.3. Кўп қатламли цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги...103
8.4. Чегара шартларининг учинчи турида стационар иссиқлик ўтказувчанлик. Иссиқлик узатиш коэффициенти...........................106

8.4.2. Бир қатламли ва кўп қатламли цилиндрик девор орқали иссиқлик узатиш..........109
8.4.3. Цилиндрик деворнинг критик диаметри..........111
8.4.4. Шарсимон девор орқали иссиқлик узатиш..........112
8.4.5. Қовурғасимон девор орқали иссиқлик узатиш..........113
8.4.6. Иссиқлик узатишни жадаллаштириш..........115
Тўққизинчи боб..........118
КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВИ..........118
9.1. Асосий тушунчалар..........118
9.1.1. Суюқлик оқимининг вужудга келиш сабаблари..........119
9.1.2. Суюқликнинг оқиш тартиби..........119
9.1.3. Суюқликнинг физик хоссалари..........122
9.1.4. Суюқлик ювиб ўтаётган сиртнинг шакли, ўлчами ва ҳолати..........122
9.2. Конвектив иссиқлик алмашинувининг дифференциал тенгламалари..........123
9.2.1. Иссиқлик алмашинув тенгламаси..........123
9.2.2. Энергияни ўтказиш тенгламаси..........123
9.2.3. Суюқлик ҳаракатининг дифференциал тенгламаси..........124
9.2.4. Оқим узлуксизлигининг дифференциал тенгламаси..........124
9.3. Ўхшашлик назарияси асослари..........125
9.3.1. Геометрик ўхшашлик..........126
9.3.2. Иссиқлик ўхшашлиги..........126
9.3.3. Кинетик ўхшашлик..........127
9.4 Моделлаштириш..........130
9.5. Табиий конвекцияда иссиқлик берилиши..........132
9.6. Чекланган фазода иссиқлик бериш..........135
9.7. Мажбурий конвекцияда иссиқлик берилиши..........137
9.8. Жисмнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик берилиши..........142
9.9. Алоҳида ҳолларда иссиқлик берилиши..........144
9.9.1. Эриган металларнинг иссиқлик бериши..........146
Ўнинчи боб..........148
НУРЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШИШ..........148
10.1. Асосий тушунчалар..........148
10.2. Иссиқлик нурланишининг асосий қонунлари..........150
10.3. Қаттиқ жисмлар орасида нурли иссиқлик алмашинуви..........153
10.4. Экранлар..........156
10.5. Газларнинг нурланиши..........157
10.6. Мураккаб иссиқлик алмашиш жараёнлари..........159
Ўн биринчи боб..........161
Иссиқлик алмашинув аппаратлари..........161
11.1. Иссиқлик алмашинув аппаратлари ҳақида умумий маълумотлар..........161

11.1.1. Иссиқлик алмашинув усулига қараб..........161
Рекуператив ли..........162
Регенератив ли..........162
11.2. Иссиқлик алмашинув аппаратларини ҳисоблаш..........165
11.3. Ўртача температура босимини ҳисоблаш..........167
УЧИНЧИ ҚИСМ..........170
ИССИҚЛИК ТЕХНИКАСИНИНГ АМАЛИЙ МАСАЛАЛАРИ..........170
Ўн иккинчи боб..........170
ЁҚИЛҒИ..........170
12.1. Ёқилғи ва унинг хоссалари..........170
Ёқилғининг ёниш иссиқлиги..........175
12.2. Ёқилғининг ёниш жараёнлари..........178
12.3. Ёниш жараёнларини ҳисоблаш..........186
12.4. Ёқилғини ёндиришга тайёрлаш..........189
Ўн учинчи боб..........197
САНОАТ ПЕЧЛАРИ ВА ЎТХОНАЛАРИ..........197
13.1. Саноат печлари .Саноат печлари ҳақида умумий маълумот..........197
13.2. Ўтхона қурилмалари..........199
Ўн тўртинчи боб..........206
ҚОЗОН ҚУРИЛМАЛАРИ..........206
14.1. Қозон қурилмаси, унинг тузилиши ва ишлаш тартиби..........206
14.2. Тўғри оқимли қозонлар..........214
14.3. Қозон агрегатнинг асосий иссиқлик узатиш сиртлари..........216
14.4. Қозон қурлмасининг ёрдамчи ускуналари..........220
Тортиш - пуфлаш қурилмалари..........220
Сув тайёрлаш асослари..........223
14.5. Қозон агрегатининг иссиқлик баланси..........224
Ўн бешинчи боб..........229
Буғ турбинали қурилма..........229
15.1. Буғ - куч қурилмасининг назарий цикли..........229
15.2. Регенератив циклли буғ - куч қурилмаси..........233
15.3. Бинар циклли буғ - куч қурилмаси..........234
15.5. Буғ турбинаси..........236
Ўн олтинчи боб..........245
ГАЗ - ТУРБИНАЛИ ҚУРИЛМАЛАР ВА РЕАКТИВ ДВИГАТЕЛЛАР ЦИКЛИ..........245
16.1. Газ - турбинали қурилмалар..........245
16.2. Иссиқлик p = const да узатиладиган ГТҚ..........246
16.3. Иссиқлик v=const да кузатиладиган ГТҚ..........248
16.4. ГТҚ циклларини таққослаш..........249
16.5. Газ - турбинали қурилманинг Ф.И.К. ни ошириш йўллари..........250
16.6. Реактив двигателлар цикли..........253

Ўн еттинчи боб..........257
Термотрансформаторлар..........257
17.1. Совуқ олишнинг назарий асослари..........257
17.2. Ҳаволи совитиш қурилмаси..........260
17.3. Буғ компрессион совитиш қурилмаси..........262
17.4. Буғ - эжекторли совитиш қурилмаси..........263
17.5. Иссиқлик насосининг ишлаш принципи..........265
ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР..........268
ҚАЙДЛАР УЧУН

ЁЗУВ УЧУН

ЁЗУВ УЧУН

ЎҚУВ - УСЛУБИЙ НАШР

ЭРКИНЖОН ЎРИНБОЕВИЧ МАДАЛИЕВ

ИССИҚЛИК ТЕХНИКАСИ

ОЛИЙ ЎҚУВ ЮРТЛАРИНИНГ ТАЛАБАЛАРИ УЧУН ДАРСЛИК

Муҳаррир	Аббосов Ё.С.
Тех. Муҳаррир	Холмирзаев А.А.
Макет тайёрловчи	Хаттатова В.К.
Мусаҳҳиҳ	Усмонов А.Х.

Теришга берилди 8.07.2002г. Босишга рухсат этилди
Бичими 60х841/16. Хажми 17,5, нашриёт б.т. Офсет усулида чоп этилди. Адади 300 нусха. Буюртма №1032
Бахоси шартнома асосида.

"Фарғона" нашриёти, 712014. Фарғона ш.
Соҳибқирон Темур кўчаси, 28-уй.

Фарғона политехника институти босмахонаси.
712000. Қиргули шаҳарчаси, Фарғона кўчаси, 6-уй.