

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ
ВАЗИРЛИГИ

ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛ-ЙЎЛЛАР ИНСТИТУТИ

«Автотракор двигателлари»
кафедраси

Автомобил транспорти факултети

«Иссиқлик техникаси»
фанидан

МАЪРУЗАЛАР МАТНИ

Тошкент 2006

Маърузалар матни «АТД» кафедрасининг 28.08.2006 йилдаги 1- сонли
мажлисида муҳокамадан ўтган.

Кафедра мудири доц. Б.И. Базаров

Тузувчилар: доц. М.М. Мирюнов
 доц. Б.И. Бозоров

Такризчилар: доц. Б.Р. Тулаев (ТДТУ)
 доц. Х. Ярмухамедов (АТЭ каф.)

ТАЙИ илмий-услубий Кенгаши томонидан тасдиқланган
(Баённома №2, 2006 йил 18 октябр)

Қайта ишланиб тўлдирилган ва муаммоли маърузалар матни.

ТАЙИ нусха кўпайтириш участкаси 2006 й. 109 бет. (Муаллифлар тахрири
остида)

Иссиқлик двигателларининг ривожланиши ўз навбатида техникий термодинамика олдида уни ривожлантиришга янги вазифалар қўйди. Буғ-куч қурилмаларида юқори босимли ва ҳароратли буғлардан фойдаланиш бундай буғларни хусусиятини чуқурроқ ўрганишни келтириб чиқарди.

Халқ хўжалигида ИЁД ларнинг кенг қўлланилиши уларнинг иссиқлик жараёнини чуқурроқ ўрганишга мажбур қилди. Бу вазифани рус олими, проф. В.И. Гриневекий амалга оширди. У ўзининг «ИЁДнинг иш жараёнини иссиқлик ҳисоби» (1908 й) китобида ИЁДларни назариясига ва иш жараёнини ҳисобига асос солди.

Хозирги пайтда тўғридан-тўғри ёнилғини электр энергиясига айлантириш соҳаси бўйича кенг термодинамик тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Юқорида келтирилганлардан кўриниб турибтики термодинамика ва иссиқлик двигателлари бир-бири билан мустаҳкам боғлиқ.

Ёнилғи-энергетик захараларини халқ хўжалигида ишлатишда, уни самарадорлигини оширишга қуйидагилар киради.

Халқ хўжалигини ҳамма соҳаларида энергияни тежайдиган илмий-техник жараёнларни тезлаштириш, ҳамма турдаги энергетик йўқотишларни камайтириш, иккиламчи ресурслардан фойдаланиш даражасини ошириш, сиқилган ва суюлтирилган табиий газларни ишлатиш билан мотор ёнилғиларини захирасини ошириш, энергетик ва энергиядан фойдаланиладиган жихозларни такомиллаштириш, ёнилғини, иссиқликни ва электр энергиясини солиштира сарфини камайтириш мақсадида энергетик ва тохнологик қурилмаларнинг ишлаш режимини оптималлаштириш, иккиламчи энергетик захиралардан фойдаланиш.

1-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Иссиқлик техникаси фани нимани ўрганади?
2. Термодинамика турли ходисаларни ўрганишда нималарга асосланади?
3. Термодинамикани ривожланишидаги тарихий босқичлари.
4. Ёнилғи-энергетик захираларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш йўллари.
5. Иккиламчи-энергетик захиралардан фойдаланиш.

Адабиётлар.

1. 15...17 бетлар.
2. 5...9 бетлар.
3. 3...5 бетлар.
4. 4...9 бетлар.

2-мавзу, 1-маъруза, 1-соат.

Термодинамикада асосий тушунчалар ва аниқликлар.

Кўриладиган масалалар.

1. Термодинамик тизим.
2. Ҳолатнинг асосий кўрсаткичлари.
3. Турғун ва натурғун ҳолатлар.
4. Ҳолат тенгламаси.
5. Иссиқлик ва иш энергия узатиш кўринишида.
6. Термодинамик жараён.
7. Қайтар ва қайтмас жараёнлар.
8. Айланма жараёнлар (ғирклар)

Таянч сўз ва иборалар.

Техниковий термодинамика; услуоби; кўрсаткичлари; термодинамик тизим; ҳолат тенгламаси; жараён; иш; иссиқлик.

2.1. Техниковий термодинамика фани ва унинг услуоби.

Термодинамика назарий физиканинг бир қисми бўлиб, турли энергияларнинг бир бирига айланиши тўғрисидаги (энергиянинг айланиш қонуниятлари) фан ҳисобланади. Бу фан табиатнинг турли ҳодисаларини кўради ва кимёвий, механикавий ва физиковий ҳодисаларини кенг миқёсда қамрайди.

Ҳозирги замонда термодинамика уч қисмга бўлиниши мумкин: умумий ёки физикавий термодинамикага; кимёвий термодинамикага; техниковий термодинамикага.

Умумий термодинамика қатик, суюқ ва газсимои жисмларда энергиянинг айланиш, турли жисмларнинг нурланиш, магнит ва электр ҳодисаси жараёнларини ўрганади, шунинг билан биргаликда термодинамик миқдорларларнинг ўзаро математиковий боғлиқлигини ўрнатади.

Кимёвий термодинамика кимёвий, иссиқлик, физиковий-кимёвий жараёнларни, турғунлик ва турғунликка ташки шароитни таъсирини термодинамиканинг умумий қонунларига асосан ўрганади.

Техниковий термодинамика иссиқликни ишга ўзаро айланиш қонуниятларини кўради. Иссиқлик ва совитгич машиналарида рўй борадиган иссиқлик, механик ва кимёвий жараёнларнинг ўзаро боғлиқлигини ўрнатади, газларда, буғларда содир бўладиган жараёнларни, ҳамда бу жисмларнинг турли физик шароитдаги хусусиятларини ўрганади.

Термодинамика иккита асосий қонунга асосланади. Термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг айланиш жараёнларининг миқдорий томонини белгилайди, Иккинчи қонуни эса физиковий тизимларда содир бўладиган жараёнларнинг сифат томонини белгилайди.

XX-асрнинг бошларида термодинамиканинг иккита қонуни Нернстни иссиқлик назарияси билан тўлдирилган. Жисмни хусусиятини паст ҳароратда аниқлашга имкон берадиган бу назария асосан кимёвий термодинамикада

фойдаланилади ва уни қўлланиши чекланган.

Термодинамикада тадқиқотларни иккита услуби қўлланилади: айланма жараёнлар услуби ва термодинамик функциялар ва геометрик тасвирлаш услуби.

2.2. Термодинамик тизим.

Табиатнинг исталган ходисасида бир қанча турли жисмлар ўзаро боғланган ҳолда иштирок этади. Қандайдир ходисани термодинамик тизим ўрганишда тадқиқот объекти сифатида жисмлар гуруҳи ёки бир жисм ёки унинг айрим қисми ажратилади. Ўрганиладиган объект термодинамик тизим деб аталади, унинг чегарасидан ташқарисида бўлганларнинг ҳаммаси атроф муҳит деб аталади. Бир бири билан ва атроф муҳит билан энергия алмашадиган макроскопик жисмларнинг йиғиндиси (мажмуаси) термодинамик тизим деб аталади. Поршенли **цилиндр**даги газ термодинамик тизимга оддий мисол бўлиши мумкин. Атроф муҳитга **цилиндр**, поршен, ҳавони киритиш мумкин.

Агарда термодинамик тизим атроф муҳит билан ўзаро таъсирланмаса тизими изоляцияланган ёки ёпиқ тизим деб аталади.

Тизим атроф муҳит билан иссиқлик алмашишга имкон бермайдиган адиабатли қобик билан ўралган бўлса иссиқлик изоляцияланган ёки адиабатли тизим деб аталади.

Идеал иссиқлик изоляцияси билан қопланган идишдаги жисм атроф муҳит билан иссиқлик алмашиш имкони бўлмагунлиги учун изоляцияланган тизимга мисол бўлади.

Ўзининг ҳамма қисмида бир ҳил таркиб ва физик хусусиятга эга бўлган тизим бир жинсли тизим деб аталади.

Ичида ажратадиган сатҳи бўлмаган бир жинсли термодинамик тизим гамогенли тизим деб аталади.

Қисмлари бир бири билан кўринадиган ажратиш сатҳи билан ажралган бўлса бундай тизимлар гетерогенли тизим деб аталади (масалан, муз ва сув, буғ ва сув ва б.)

2.3. Термодинамик ҳолатининг асосий кўрсаткичлари.

Жисмнинг берилган физик ҳолатини аниқлайдиган айрим микдорлар термодинамикада ҳолатнинг кўрсаткичлари деб аталади. Бир неча микдорлар ҳолат кўрсаткичлари бўлиши мумкин; солиштирма ҳажм, босим, ҳаракат, ички энергия, энталпия, энтропия, концентратсия, изохор-изотермли потенциал ва бошқалар.

Куч майдони иштирок этмаганда (гравитацияли, энергомагнитли ва б.) бир жинсли жисмнинг ҳолати учта кўрсаткичлар билан аниқланиши мумкин, техникавий термодинамикада солиштирма ҳажм, абсолют ҳарорат ва босим кўрсаткичлар сифатида қабул қилинади. Бу учта кўрсаткичлар асосий

кўрсаткичлар деб аталади ва улар ўзаро бир бири билан математик боғлиқликка эга.

Солиштирма ҳажм.

Берилган жисмнинг масса бирлигини эгаллаган ҳажми бир жинсли жисмнинг солиштирма ҳажми деб аталади, ўлчам бирлиги $\text{м}^3/\text{кг}$ да бўлади.

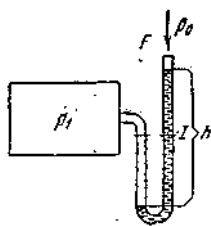
$$\nu = \frac{V}{m}$$

бу ерда V - ихтиёрий миқдордаги жисмнинг ҳажми, м^3 ; m - келтирилган ҳажмдаги жисмнинг миқдори, кг .

Босим.

Идишдаги газнинг тартибсиз узлуксиз ҳаракати натижасида идишнинг деворига молекулярининг ўртача урилишининг нағижаси молекуляр-кинетик назарияси нуқтаи назаридан босим деб аталади ва нормал ташкил этувчи кучи бўлиб юза бирлигига таъсир қилади. Босимни ўлчаш учун турли birlikлар: паскал (па), бар, сув ёки симоб устуни миллиметри ишлатилади. Амалий ҳисоблашларда 1м^2 сатҳга таъсир қилаётган килонютон ($\text{кН}/\text{м}^2$), меганютон ($\text{МН}/\text{м}^2$) лардан фойдаланиш мумкин.

2.1 - расмда газли идиш тавсирланган. Идишдаги босим P_1 , атмосфера босими эса P_0 , у ҳолда $P_1 > P_0$. Босимининг $P_1 - P_0$ фарқи натижасида суюқлик найчанинг ўнг томонида кўтарилади ва идишдаги ортиқча босим билан мувозанатлашади. Бундан қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин.



2.1 - расм.

$$P_1 F = P_0 F + h F \rho g \text{ бу тенгламадан } h = \frac{P_1 - P_0}{\rho g}. \text{ Демак суюқлик устунинг}$$

баландлиги идишдаги босимнинг фарқига тўғри пропорционалда ва суюқликнинг зичлигига тескари пропорционалда.

Агарда босимларнинг фарқи 1 бар деб қабул қилинса, унда найчани сумоб билан тўлиш баландлиги h қуйидагига тенг бўлади.

$$h = \frac{10 \times 10^4}{13595,10 \times 9,81} = 750,10 \text{ мм}$$

сумоб устуни.

Бу ерда $\rho = 13595,10 \text{ кг}/\text{м}^3 - 0^\circ\text{C}$ даги сумобнинг зичлиги; $g = 9,8 \text{ м}/\text{сек}^2$ эркин

тушиш тезлиги.

Босимнинг ўлчаш учун барометрлар ёки манометрлар, сийракланишни ўлчаш учун вакуумметрлар ишлатилади. Барометр билан атмосфера босими, манометр билан эса атмосфера босимидан юқорн бўлган (ортиқча) босим ўлчанади. Атмосфера босимидан ортиқ бўлган босим ортиқча босим деб аталади.

Фақат абсолют босим ҳолатнинг термодинамиквий кўрсаткичи бўлиб ҳисобланади. Босимнинг абсолют нўлидан ёки абсолют сийракланишидан бошлаб ҳисобланадиган босимлар абсолют босим деб аталади. Абсолют босимни ўлчашда икки ҳолат бўлиши мумкин:

- 1) идишдаги босим атмосфера босимидан ортиқ;
- 2) идишдаги босим атмосфера босимидан кам.

Биринчи ҳолатда идишдаги абсолют босимни микдори манометр билан барометр кўрсаткичларини йғиндисига тенг бўлади.

$$P_{абс} = P_{атм} + P_{изб}$$

Иккинчи ҳолатда идишдаги абсолют босим барометрнинг кўрсаткичидан вакуумметр кўрсаткичини йғиндисига тенг бўлади.

$$P_{аб} = P_{от} + P_{вак}$$

Ортиқча босим ва сийракланиш ҳолатнинг кўрсаткичини бўлиб ҳисобланмайди, чунки бир ҳил абсолют босимда атмосфера босимига нисбатан улар турлича қийматларга эга бўлиши мумкин.

Ҳарорат.

Ҳарорат жисмнинг ис иш даражасини белгилаб, унинг молекуласини илгариланма ҳаракатини ўртача кинетик энергиясининг ўлчами ҳисобланади, яъни ҳарорат молекулаларнинг ҳаракатини ўртача жадаллигини белгилайди, молекуланинг ўртача ҳаракат тезлиги қанча кўп бўлса, жисмнинг ҳарорати шунча юқори бўлади. Агарда жисмларнинг молекулаларининг ҳаракатини кинетик энергияси турлича бўлган икки жисм бир бирига теккизилса молекуласини ўртача кинетик энергияси юқори бўлган жисм энергиясини молекуласини ўртача кинетик энергияси кам бўлган жисмга беради. Бу жараён икки жисмнинг молекулаларини кинетик энергияларининг тенглашгунича давом этади, яъни икки жисмнинг ҳароратларини тенглашгунича. Икки жисмнинг бундай ҳолати иссиқлик турғунлиги деб аталади.

Иссиқлик турғунлигида материянинг кинетик назарияси молекуланинг илгариланма ҳаракатнинг ўртача кинетик энергияси $mV^2/2$ ни идеал газнинг абсолют ҳарорати T билан боғлайди ва бу қийматлар тўғридан-тўғри ўзаро боғлиқлигини ўрнатади.

$$m\varpi^2/2 = \frac{3}{2}kT$$

Бу ерда m -молекуланинг массаси; ϖ^2 -молекуланинг илгариланма ҳаракатининг ўртача тезлигини квадрати; T -абсолют ҳарорат; $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ ж / град}$ - Болъман доимийлиги. Ҳароратнинг қиймати абсолют нўл

бўлганда молекуланинг иссиқлик ҳаракати тўхтайди.

Ҳароратнинг ўлчаш учун техникада жисмларнинг турли хусусиятларидан фойдаланилади: суюқлик термометрларда жисмнинг исишидан кенгайиши; ўзгармас босимда ҳажмнинг ўзгариши ёки ўзгармас ҳажмда босимнинг ўзгариши, газли термометрларда; қаршилиқ термометрларида электр ўтказувчиларни исиганида қаршилигини ўзгариши; термопаралар занжирида, уларнинг учи совитилган ёки истилганда, электр юритувчи кучнинг ўзгариши.

Ҳароратларни ўлчашда иккита ҳарорат шкаласидан фойдаланилади: термодинамик ҳаракат шкаласи, бу шкала термодинамиканинг иккинчи қонунига асосланган; халқаро амалий ҳарорат шкаласи, бу шкала термодинамик шкалани реперли (таянчли) нуқталар ва интерполяғилаш тенгламаси ёрдамида амалий амалга оширмоқ ҳисобланади.

Ҳарорат иккала шкалада ҳам Келвин градусида ($^{\circ}K$) ва Ғелсий градусида ($^{\circ}C$) ўлчаниши мумкин.

Сувнинг суюқ, буғ ва қаттиқ фазаларини турғун ҳолати Келвин градуси бўйича $273,15^{\circ}K$, Ғелсий градуси бўйича $0,01^{\circ}C$ ҳароратга тўғри келадиган сувнинг учлик нуқтаси деб аталади.

Келвин градуси билан Ғелсий градусида ифодаланган ҳароратлари ўртасида қуйидагича боғлиқлик бор.

$$T^{\circ}K = 273,15 + t^{\circ}C$$

Абсолют ҳарорат ҳолат кўрсаткичи ҳисобланади, абсолют ҳарорат Келвин градусида ўлчанади. Абсолют ҳароратни градус шкаласи сон жиҳатида Ғелсий градус шкаласига тенг, яъни $dT=dt$.

2.4. Термодинамик жараён.

Бир жинсли жисмнинг ҳолатини термодинамик кўрсаткичлари P , V ва T бири бирига боғлиқ ва ўз аро маълум математик тенглама орқали $F(P, V, T)=0$ кўринишида боғланган. Бундай боғлиқлик термодинамикада ҳолат тенгламаси деб аталади.

Вақт, массаси ва таркиби бўйича ўзгармас ва бир жинсли содда тизимларни ҳолатини аниқлаш учун, агарда ҳолат тенгламаси маълум бўлса, учта ўзгарувчидан иккитасини билиш кифоя қилади.

$$P = f_1(V, T); \quad V = f_1(P, T); \quad T = f_1(V, P)$$

Агарда термодинамик тизим турган ташқи муҳитни шароити ўзгарса тизимнинг ҳолати ҳам ўзгаради. Бир турғун ҳолатдан иккинчи турғун ҳолатга ўтишида термодинамик тизимнинг ҳолатини ўзгаришини йғиндиси термодинамик жараён деб аталади.

Жисмнинг ҳажмини барча нуқталарида босими, ҳарорати, солиштира ҳажми ва бошқа ҳамма физик хусусиятлари бир ҳил бўлса жисмнинг ҳолатини турғун ҳолат деб аталади.

Тизимнинг ҳолатини ўзгариш жараёни турғун бўлиши мумкин. Агарда жараён кечишида турғун ҳолатлардан ўтса бундай жараённи турғун деб аталади. Термодинамик тизимни турғун ҳолатини ва ҳолатининг

ўзгаришини турғун жараёнини термодинамика биринчи галда кўриб чиқади. Фақат турғун ҳолатни ҳолат тенгламаси орқали миқдорий кўрсатилиши мумкин. Клапейрон, Клапейрон-Менделеев, Ван-дер-Ваалс тенгламалари ҳолатнинг содда тенгламалари ҳисобланади.

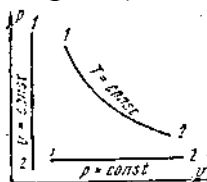
Турғун жараён ташқи шароитни чексиз секинлик билан ўзгаршида тизимнинг ҳолатини белгилувчи кўрсаткичларининг ўзгариши кўрсаткичларнинг миқдorigа нисбатан чексиз кичик бўлганда содир бўлади. Масалан, **цилиндр**да газнинг тезлик билан кенгайишида ёки тезлик билан сиқишда ҳарорат ва босим ишчи жисмнинг ҳажмини барча нуқталарида бир хил бўлмайди, яъни нотурғун ҳолатга эга бўлади, жараённинг ўзи эса нотурғун бўлади.

Ҳолат тенгламаси $F(V,P,T)=0$ математик нуқтаи назаридан уч ўқли координат тизими P, V , ва T га термодинамик сатх деб аталадиган айрим сатхларни ифодалайди. Термодинамик тизимнинг ҳолатини ўзгаришини турғун жараёнини (графикда) чизмада тасвирлаш мумкин.

Агарда термодинамик сатхни координата ўқиға параллел бўлган текисликлар билан кесилса сатхда қуйидаги чизиклар пайдо бўлади: $V = const$ текислик билан кесими P, T координатида босимни ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариш жараёнини белгилувчи чизикни беради; бу чизик билан тасвирланадиган жараён ўзгармас ҳажмда кечади ва изохорли жараён деб аталади; $P=const$ бўлгандаги текислик билан кесими V, T координатада солиштирма ҳажмнинг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариш чизигини беради; бу чизик билан тасвирланадиган жараён ўзгармас босимда кечади ва изобарли жараён деб аталади; $T=const$ бўлгандаги текислик билан кесим P, V координатада босимни солиштирма ҳажмга боғлиқ; равишда ўзгариш чизигини беради; бу чизик билан тасвирланадиган жараён ўзгармас ҳароратда кечади ва изотермли жараён деб аталади.

Турғун термодинамик жараёнларни тадқиқот қилиш учун техник термодинамикада икки ўқли P, V координат тизимидан фойдаланилади. Абсцисса ўқи солиштирма ҳажм, ордината ўқи эса босим ҳисобланади.

P, V координат тизимида тик чизик ўзгармас ҳажмдаги жараён изохорни тасвирлайди, горизонтал чизик ўзгармас босимдаги жараён изобарни тасвирлайди, гиперболо шаклидаги эгри чизик ўзгармас ҳароратдаги жараён изотермни тасвирлайди (2.2-расм).



2.2-расм.

Термодинамик жараёнларни ўрганаётганда бекик ёки айланма жараёнлар муҳим аҳамиятга эга. Кетма-кет қотор ҳолатларни ўтиб бошланғич ҳолатига қайтиб келадиган тизим жараёни айланма жараён деб аталади. Айланма жараён ғикл деб ҳам аталади.

Исталган термодинамик жараёнда ҳолат кўрсаткичларни ўзгариши жараённинг турига боғлиқ бўлмайди, унинг бошланғич ва охириги ҳолати билан аниқланади. Шунинг учун исталган ҳолат кўрсаткичлари ҳолатнинг функцияси ҳам ҳисобланади.

Кўрсаткичлар тизимининг массасига боғлиқ ва боғлиқ бўлмаслиги мумкин. Ҳолатнинг кўрсаткичлари тизимининг массасига боғлиқ бўлмаса интенсив кўрсаткичлар деб аталади (босим, ҳарорат). Тизимининг массасига пропорционал бўлган кўрсаткичлар аддитивли ёки экстенсивли кўрсаткичлар деб аталади (ҳажм, энергия, энтропия ва б.).

2.5. Иссиқлик ва иш.

Жисмнинг термодинамик жараёни кечишида иштирок этувчилари ўзаро энергия алмашади. Бунинг натижасида айрим жисмларнинг энергияси ошади, айримларини энергияси камаяди. Бир жисмдан бошқа энергия ўзатиш жараёни икки усул билан амалга ошириши мумкин.

Биринчи усулда энергия ўзатиш жисмларнинг тўғридан тўғри бир-бирига тегиши натижасида бўлади. Бунда ҳарорати турлича бўлган жисмларнинг молекулярининг ўзаро кинетик энергияларини алмашиш йўли билан амалга ошади. Молекуласини ўртача кинетик энергияси кўп бўлган жисмдан молекуласини ўртача кинетик энергияси кам бўлган жисмга энергия ўтади. Биринчи усулда бир жисмдан бошқа жисмга узатилган энергия миқдори иссиқлик миқдори деб аталади, усулни ўзи эса энергия ўзатиш иссиқлик кўринишида бўлади. Иссиқлик жоулларда ва киложоулларда ўлчанади. Ихтиёрий иссиқлик миқдорини Q , солиштира иссиқликни эса q билан белгилаш қабул қилинган. Берилган иссиқлик мусбат, олинган иссиқлик манфий деб ҳисобланади.

Иккинчи усулда энергия ўзатиш куч майдонини ёки ташқи босимнинг мавжудлиги билан боғлиқ. Бу усулда энергияни ўзатиш учун жисм куч майдонида силжиши керак ёки ўзининг ҳажмини ташқи босим таъсиридан ўзгартириши керак. Энергиянинг бундай усулда ўзатилиши энергия ўзатишни иш кўринишида деб аталади, жараёнда берилган энергияни эса иш деб аталади.

Умумий ҳолда энергияни иссиқлик ва иш кўринишида ўзатилиши бир вақтда бўлиши мумкин.

Иш энергиянинг макрофизик кўринишидаги ўзатиши ҳисобланади, иссиқлик эса макрофизик жараёнларнинг йўндош ҳисобланади.

Иссиқлик ва иш миқдорлари энергиянинг ўлчамлари бўлиб, жисмни иш ва иссиқлик кўринишида ўзатиши.

Элементар иш ql ва элементар иссиқлик dQ ҳолат кўрсаткичларини тўлиқ дифференциал бўлаолмайди ва уларни иссиқлик ва ишни кўпайиши деб; айтиш мумкин эмас, ql ва dQ элементар жараёнда иштирок этувчи чексиз кичик иссиқлик ва иш. Шунинг учун охириги жараёни қуйидагича ёзиш мумкин эмас.

$$\int_1^2 dQ = Q_2 - Q_1 \quad \text{ва} \quad \int_1^2 dl = l_2 - l_1$$

1-2 ҳолат жараённинг кечиш Шарти берилганда келтирилган иккита интегрални олиш мумкин. Шунинг учун интеграллашни фақат қуйидагича ифодалаш мумкин.

$$\int_1^2 dQ = Q_{2-1} \quad \text{ва} \quad \int_1^2 dl = l_{2-1}$$

2-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Техниковий термодинамикада қандай масалалар кўрилади?
2. Қайси кўрсаткичлар термодинамик кўрсаткичларнинг асосийлари деб ҳисобланади?
3. Абсолют босим билан манометрик босимни фарқи нимадан иборат?
4. Қандай ҳарорат шкалалари мавжуд?
5. Термодинамик жараён нима?
6. Термодинамик тизм деб нимага айтилади?
7. Бир жисмда иккинчи жисмга энергия қандай кўринишда узатилади?
8. Турғун ҳолат деб нимага айтилади?

Адабиётлар.

1. 18...33 бетлар.
2. 6...13 бетлар.
3. 7... 19 бетлар.
4. 4...10 бетлар.
5. 6...16 бетлар.

3-мавзу, 2-маъруза, 1-соат.

Ишчи жисм аралашмаси. Кўриладиган ма салалар.

1. Идеал газларнинг асосий қонунлари.
2. Аралашманинг таркибини бериш усуллари.
3. Аралашманинг массали ва ҳажмий қисмларини нисбати.
4. Аралашманинг ҳолат кўрсаткичларини ҳисоблаш: молекуляр массани, газ доимийлигини ва ташкил этувчиларининг парғиал босимларини аниқлаш.

Таянч сўз ва иборалар.

Идеал газ; қонунлар; ҳолат тенгламаси; газ доимийлиги; газ аралашмаси.

Ишчи жисм аралашмаси.

Идеал газнинг асосий қонунлари.

Бойл-Мариот ва Гей-Люссак қонунларига тўлиқ бўсинидаган газлар идеал газлар деб аталади. Идеал газларда молекулаларининг ўзаро тортишиш ва итариш кучлари бўлмайди, молекулаларнинг ҳажми эса газнинг ҳажмига нисбатан жуда кам.

Ҳамма реал газлар юқори ҳароратларда ва паст босимларда «Идеал газ» тушунчасига моз келади, деярли хусусияти билан идеал газдан фарк қолмайди.

Бойл-Мариот қонуни ўзгармас ҳарорат жараёнида идеал газни солиштира ҳажми билан абсолют босимини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади, яъни ўзгармас ҳароратда идеал газни ҳажми босмига нисбатан тескари пропорционалда ўзгариши.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{ёки} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{const}$$

Бойл-Мариот қонуни PV координат тизимида тенг томонлиги гиперболани тасвирлайди. Бу эгри чизиқ изотерма деб юритилади, ўзгармас ҳароратда кечадиган жараён эса изотермли жараён деб аталади.

Гей-Люссак қонуни ўзгармас босимда солиштира ҳажми билан абсолют ҳароратини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади, яъни ўзгармас босимда идеал газнинг бир хил ҳажмли миқдори абсолют ҳароратга нисбатан тўғри пропорционалда ўзгаради.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1} \quad \text{ёки} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$

Гей-Люссак қонуни PV координат тизимида абсцисса ўқига параллел тўғри чизиқни тасвирлайди. Бу тўғри чизиқ изобар деб юритилади. Ўзгармас босимда кечадиган жараён эса изобарли жараён деб аталади.

Шарл қонуни идеал газни солиштира ҳажми ўзгармас бўлганда босимини ҳароратга боғлиқлигини ўрнатади, яъни идеал газни солиштира ҳажминини ўзгармас ҳолатида, уни абсолют босими абсолют ҳароратига тўғри пропорционалда ўзгаради.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1} \quad \text{ёки} \quad \frac{P}{T} = \text{const}$$

Бойл-Мариот, Гей-Люссак ва Шарл қонунлари идеал газнинг учта асосий кўрсаткичларини иккитасини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади. Ҳолат тенгламаси идеал газнинг учта асосий кўрсаткичларини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Идеал газнинг босимини солиштира ҳажмига кўпайтмасини абсолют ҳароратига бўлган нисбати ўзгармасдир.

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

Бу ўзгармас миқдорни газни солиштира доимийлиги деб аталади ва R ҳарфи билан белгиланади.

$$\frac{PV}{T} = R \quad \text{ёки} \quad PV = RT$$

Ушбу тенгламани идеал газни ҳолат тенгламаси деб аталади.

1 кмолқ газ учун ҳолат тенглама қўйидаги кўринишига эса бўлади.

$$PV_{\mu} = \mu RT \text{ бу тенгламадан}$$

$$\mu R = \frac{PV_{\mu}}{T}$$

μR кўпайтмани универсал газ доимийлиги деб аталади. Универсал газ доимийлиги μR 1 кмолқ идеал газнинг ўзгармас босимида ва ҳароратини 1^0 ўзгариш жараёнидаги иши ҳисобланади.

Нормал физик-шароитда (босим 101325 Н/м^2 ва ҳарорат $273,15 \text{ К}$ бўлганда) 1 кмолқ газнинг ҳажми $22,4143 \text{ м}^3/\text{Кмолқ}$ га тенг, шунинг учун универсал газ доимийлиги қуйидагига тенг бўлади.

$$\mu R = \frac{101325 \times 22,4143}{273,15} = 8,3142 \text{ кЖ / (кмоль град)}$$

1 кмолқ газга тўғри келадиган ҳолатни универсал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$PV_{\mu} = 8314,20T$$

Универсал газ доимийлигини билган ҳолда газни солиштирма доимийлигини аниқлаш мумкин.

$$R = 8314,2 / \mu, \text{ж / (кг град)}$$

Идеал газларнинг аралашмаси.

Ўзаро кимёвий бирикмайдиган айрим газларни аралашмасига газлар аралашмаси деб аталади. Аралашмадаги ҳар бир газ бошқа газларга боғлиқ бўлмаган ҳолда аралашмани ҳажмини бир ўзи эгаллагандик ҳамма хусусияларини сақлаб қолади. Газнинг молекулалари идишнинг деворида босим ҳосил қилади, бу босим эса аралашмани ташкил этувчиларини парғиал босми деб аталади.

Идеал газларнинг аралашмаси ДАЛҚТОН қонунига бўйсунди, яъни газлар аралашмасининг умумий босими айрим газларнинг парғиал босимларини йғиндиси га тенг.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_1^n P_i$$

бу ерда $P_1, P_2, \dots, P_n$ - парғиал босим.

Аралашманинг таркибидаги ҳар бир газнинг аралашмадаги миқдори, ҳажми ва аралашма ҳароратида ўзи эгаллагандаги босими парғиал босим деб аталади.

Газ аралашмасининг кўрсаткичлари Клайперон тенгламаси орқали аниқланиши мумкин.

$$PV = mR$$

бу ердаги микдорларни ҳаммаси газ аралашмасига тааллуқли.

Шундай қилиб, газ аралашмасини ҳисобини вазифаси газ аралашмасини берилган таркибига асосан ўртача молекуляр массасини ёки газ аралашмасини газ доимийлигини аниқлаш, сўнгра бошқа ҳамма кўрсаткичларни аралашмани ҳолат тенгламасидан олиш мумкин.

Газ аралашмаси массали, ҳажмий ва молли қисмлар орқали берилиши мумкин.

Аралашмани ташкил этувчиларини ҳар бирини массасини газ аралашмасини умумий массасига бўлган нисбати массали қисми деб аталади.

$$q_1 = \frac{m_1}{m}; \quad q_2 = \frac{m_2}{m}; \dots; \quad q_n = \frac{m_n}{m};$$

бу ерда $q_1, q_2, \dots, q_n$ - аралашмани ташкил этувчиларини массали қисми: $m_1, m_2, \dots, m_n$ - аралашмани ташкил этувчи ҳар бир газнинг массаси. Ҳар бир газнинг массали қисмларини йғиндиси бирга тенг.

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_1^n q_i = 1$$

Ҳар бир газнинг массаларини йғиндиси аралашмани умумий| масасига тенг.

$$m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_1^n m_i = m$$

Аралашманинг ташкил этувчиларини ҳар бирини парғиал (келтирилган) ҳажмларини газ аралашмасини умумий ҳажмига бўлган нисбатан ҳажми қисми деб аталади.

$$r_1 = \frac{V_1}{V}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V}; \dots; \quad r_n = \frac{V_n}{V};$$

бу ерда $r_1, r_2, \dots, r_n$ - аралашмани ташкил этувчиларини ҳажми қисми; $V_1, V_2, \dots, V_n$ ҳар бир газнинг парғиал (келтирилган) ҳажми; V - аралашмани ҳажми.

Ҳарорати ва босими газ аралашмасини босими ва ҳароратига тенг бўлганда эгаллайдиган ҳар бир газнинг ҳажми келтирилган ҳажм деб аталади.

Ҳар бир газни парғиал ҳажмини Бойл-Мариот қонуни бўйича аниқлаш мумкин.

$$V_1 = \frac{P_1 V}{P}; \quad V_2 = \frac{P_2 V}{P}; \dots; \quad V_n = \frac{P_n V}{P};$$

Ҳар бир газнинг парғиал ҳажмини йғиндиси газ аралашмасини ҳажмини тенг.

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_1^n V_i = V$$

Аралашманинг ташкил этувчи газларнинг ҳажмий қисмларини йғиндиси бирга тенг.

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = \sum_1^n r_i = 1$$

Аралашмани ташкил этувчиларини молли қисми ва уларнинг ҳажмий қисмлари бир ҳил маънони билдиради.

$$\mu_i = \frac{m_i}{M_i} \quad \text{ва} \quad \mu = \frac{m}{M}$$

бу ерда m_i - аралашмани ташкил этувчи ҳар бир газни киломол сони M - аралашмани киломол сони.

$$\frac{m_i}{M} = \frac{m_i}{m} \frac{\mu}{\mu_i} = \frac{\rho_i V_i \mu}{\rho V \mu_i}$$

бу ерда ρ_i - газ аралашмасини ташкил этувчи ҳар бир газни зичлиги; ρ газ аралашмасини зичлиги.

Бир ҳил босимда ва ҳароратда Авагадро қонунига асосан

$$\frac{\rho_i}{\rho} = \frac{\mu_i}{\mu} \quad \text{шунинг учун}$$

$$\frac{m_i}{m} = \frac{V_i}{V} = r_i$$

Ҳар қандай газни ва аралашмани солиштирма ҳажми, зичлиги, молекуляр массаси ва газ доимийлиги Авогадро ва Клайперон-Менделеев қонунга асосан қуйидаги боғлиқликка эга,

$$\frac{\rho_i}{\rho} = \frac{V}{V_i} = \frac{\mu_i}{\mu} = \frac{R}{R_i}$$

бу ерда μ_i - ҳар бир газнинг молекуляр массаси; μ - газ аралашмасининг молекуляр массаси; R_i ҳар бир газнинг газ доимийлиги; R - аралашманинг газ доимийлиги; V - аралашмани солиштирма ҳажми; V_i - ҳар бир газнинг солиштирма ҳажми. Қуйидагича ёзиш ҳам мумкин,

$$q_i = \frac{m_i}{m} = \frac{\rho_i V_i}{\rho V} = \frac{\rho_i}{\rho} r_i$$

Охирги икки нисбат массали ва ҳажмий қисмларини боғлиқлиги бўйича бир нечта тенгламани тузишга имком беради.

$$q_i = \frac{V}{V_i} r = \frac{\mu_i}{\mu} r = \frac{R}{R_i} r_i$$

$$r_i = \frac{\rho_i}{\rho} q_i = \frac{V_i}{V} q_i = \frac{R_i}{R} q_i = \frac{\mu}{\mu_i} q_i$$

Газ аралашмасининг газ доимийлиги.

Газ аралашмаси ҳолат тенгламасига бўйсунди.

$$PV = mRT \quad \text{ва} \quad R = \frac{PV}{mT}$$

(3.10") тенгламадан

$$r_i = \frac{q_i R_i}{R} \quad \text{ва} \quad \sum_{i=1}^n r_i = \frac{\sum_{i=1}^n q_i R_i}{R} \quad \text{бундан}$$

$$R = \sum_{i=1}^n q_i R_i = q_1 R_1 + q_2 R_2 + \dots + q_n R_n$$

Аралашмани ташкил этувчи ҳар бир газнинг массали қисмини уни газ доимийлигига кўпайтмасини йиғиндиси аралашмани газ доимийлигига тенг.

Аралашмани газ доимийлигини аниқлайдиган бошқа тенгламани кўриниши қуйидагича

$$R = \sum q_i r_i = 8314,2 \frac{q_1}{\mu_1} + \frac{q_2}{\mu_2} + \dots + \frac{q_n}{\mu_n}$$

Аралашмани ўртача молекуляр массаси орқали ҳам газ аралашмасини газ доимийлигини аниқлаш мумкин.

$$R = 8314,2 / \mu \quad (3.13)$$

Газ аралашмасини ташкил этувчи ҳар бир газнинг газ доимийлиги ҳам аралашмани газ доимийлигини аниқлайдиган ифода орқали, ҳар бир газни молекуляр массасини иштироки натижасида аниқланади.

Агарда аралашма ҳажмий қисм билан берилган бўлса, унда

$$q_1 = \frac{R}{R_1} r_1 \quad \text{ва} \quad \sum q_i = R \sum \frac{r_i}{R_i} = 1$$

Бундан келиб чиққан ҳолда

$$R = \frac{1}{\sum \frac{r_i}{R_i}} = \frac{1}{\frac{r_1}{R_1} + \frac{r_2}{R_2} + \dots + \frac{r_n}{R_n}} \quad (3.14)$$

Аралашманинг ўртача молекуляр массаси.

Агарда газ аралашмасини газ доимийлиги маълум бўлса, у ҳолда аралашмани ўртача молекуляр массаси қуйидагича аниқланади.

$$\mu = \frac{8314,2}{R}; \quad \mu = \frac{8314,2}{q_1 R_1 + q_2 R_2 + \dots + q_n R_n} \quad (3.15)$$

Агарда аралашма массали қисм бўйича берилган бўлса.

$$\mu = \frac{1}{\sum \frac{r_i}{R_i}} = \frac{1}{\frac{q_1}{\mu_1} + \frac{q_2}{\mu_2} + \dots + \frac{q_n}{\mu_n}}$$

Агарда аралашма ҳажмий қисм бўйича берилган бўлса, у ҳолда

$$R = \frac{1}{\sum r_i R_i} = \frac{8314,2}{\sum r_i \mu_i} \quad (3.16)$$

$$\mu = \sum r_i \mu_i = r_1 \mu_1 + r_2 \mu_2 + \dots + r_n \mu_n$$

Парғиал босим.

Агарда газнинг асосий кўрсаткичлари берилган бўлса, газни парғиал босими массали қисми орқали аниқланиши мумкин.

$$P_i = \frac{m_i R_i T_i}{V} = P \frac{m_i R_i}{m R} = P q_i = \frac{R_i}{R} = P q_i \frac{\mu}{\mu_i} \quad (3.18)$$

Аралашма ҳажмий қисмда берилганда ҳар бир газни парғиал босимини аниқлашда Бойл-Мариот қонунидан фойдаланиш мумкин.

$$P_i V = P V_i \quad \text{ва} \quad P_i = P \left(\frac{V_i}{V} \right) = P r_i \quad (3.18)$$

3-мавзуга оид назорат саволлар.

1. Идеал газ деб нимага айтилади?
2. Молекуляр масса деб нимага айтилади?
3. Идеал газни ҳолатини характеристик тенгламаси.
4. Киломол деб нимага айтилади?
5. Газ аралашмаси деб нимага айтилади?
6. Далтон қонуни.
7. Парциал босим деб нимага айтилади?
8. Аралашманинг газ доимийлиги қандай аниқланади?

Адабиётлар.

1. 34...39 бетлар.
2. 13...14 бетлар.
3. 20...34 бетлар.
4. 10...20 бетлар.
5. 16...33 бетлар.

4-мавзу, 2-маъруза, 1-соат.

Иссиқлик сиғими.

Қўриладиган масалалар.

1. Массали, ҳажмий ва моляр иссиқлик сиғими.
2. Ўзгармас ҳажмдаги ва ўзгармас босимидаги иссиқлик сиғимлари.
3. Иссиқлик сиғимини ҳароратга ва босимга боғлиқлиги.
4. Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғими.
5. Ишчи аралашманинг иссиқлик сиғими.

Таянч сўз ва иборалар.

Иссиқлик сиғими, аналитик ифодаси, Майер тенгламаси.

Асосий аниқликлар.

Иссиқлик аппаратларни ҳисоблашда жараёнда иштирок этадиган иссиқлик миқдорини аниқлаш катта аҳамиятга эга. Уни аниқ аниқланиши иқтисодий нуқтаи назаридан, иссиқлик аппаратини ишлашини тўғри баҳолашни таъминлайди.

Қандайдир жараёнга иссиқлик берилиши уни ҳолатини ўзгаришга олиб келади, яъни ҳарорати ўзгаради. Жисмнинг бирлик миқдорини олган dq

иссиқлигини ҳароратини ўзгариши dt га бўлган нисбати иссиқлик сифими деб аталади.

$$C_X = dq_X / dt \quad (4.1)$$

(4.1) тенгламадаги q ни миқдори фақат ҳароратга боғлиқ бўлмасдан, иссиқлик бериш жараёнини турига ҳам боғлиқ ($V = \text{const}$, $P = \text{const}$). Берилган жараснда олинган иссиқликни умумий миқдори қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q_{1-2,X} = \int_{T_1}^{T_2} C_X dT \quad (4.2)$$

$dq_{1-2,X}$ иссиқлик миқдори жараёнинг кечишига боғлиқ. Жараёнинг кечишига қараб бир тизимни ўзи турли иссиқлик сифимига эга бўлиш мумкин, яъни сон қиймати $-\infty$ дан $+\infty$ гача ўзгариши мумкин.

Газларнинг массали, ҳажмий ва моляр иссиқлик сифими.

1кг газга тўғри келадиган иссиқлик сифими массали иссиқлик сифими деб аталади ва C_X , билан белгиланади, ўлчам бирлиги кж/кг.град .

1м³ газга тўғри келадиган иссиқлик сифими, ҳажмий иссиқлик сифими деб аталади ва C_X билан белгиланади, ўлчам бирлиги $\text{кж/м}^3\text{град}$.

1кмол газга тўғри келадиган иссиқлик сифими моляр иссиқлик сифими деб аталади ва μC_X билан белгиланади, ўлчам бирлиги кж/кмол.град .

Келтирилган иссиқлик сифимлари орасида қуйидагича боғлиқлик мавжуд.

$$C_X = C'_X V_0 = \mu C_X / \mu$$

бу ерда V_0 - нормал термодинамик шароитдаги солиштирма ҳажм;
 μ - молекуляр масса.

Ўзгармас ҳажмдаги ва ўзгармас босимдаги иссиқлик сифимларнинг аналитик ифодаси.

Ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сифими C_1 , термодинамикада катта аҳамиятга эга ҳисобланади ва ўзгармас ҳажм жараёнидаги dq_1 иссиқликни жисм ҳароратини ўзгаришига бўлган нисбати билан аниқланади.

$$C_1 = dq_1 / dT \quad (4.3)$$

Ўзгармас босимдаги иссиқлик сифими C_1 , ўзгармас босим жараёнидаги dq_1 , иссиқликни жисмни ҳароратини ўзгаришига бўлган нисбати билан аниқланади.

$$C_1 = dq_1 / dT \quad (4.4)$$

Жисмни турғун жараёнда иситишда иссиқликни элементар миқдори қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\begin{aligned} dq &= du + Pdv, \\ du &= (\partial u / \partial T)_V dT + (\partial u / \partial V)_T dV, \text{ бўлганлиги учун,} \\ dq &= (\partial u / \partial T)_V dT + [(\partial u / \partial V)_T dV + P]dV \end{aligned} \quad (4.4)$$

Олинган ифода ўзгармас ҳажмдаги жараён учун қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$dq_V = (\partial u / \partial T)_V dT$$

Шунинг учун $V=const$ бўлганда иссиқлик сифими қуйидагича бўлади.

$$C_V = (\partial u / \partial T)_V \quad (4.5)$$

$V=const$ бўлганда, жисм ташқи иш бажармаганлиги учун берилган иссиқликнинг ҳаммаси ички энергияни ошириш учун кетади.

$$dq_V = du_V = C_V dT_V \quad (4.6)$$

Ёки $C_V = const$ бўлганда $q_{1-2,V} = U_2 - U_1 = C_V(t_2 - t_1)$.

Идеал газнинг ички энергиясини ўзгариши ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сифимини жисмни ҳароратларини фарқига кўпайтмасига тенг.

(4.6) идеал газ тенгламасини ҳароратни $0^\circ C$ дан $t^\circ C$ оралиғида интеграллаб қуйидагини оламиз:

$$U = \int_0^1 C_V dT = C_{Vm} \Big|_0^1 t$$

бу ерда $C_{Vm} - V=const$ бўлгандаги ўртача иссиқлик сифими.

Бундан идеал газни ҳолатини ўзгаришини исталган жараёни охири учун

$$U_2 - U_1 = C_{Vm} \Big|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1) = C_{Vm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{Vm} \Big|_0^{t_1} t_1, \text{ бўлади.}$$

$du = C_V dT$ ни қийматини термодинамиканинг биринчи қонунини асосий тенгламасини ўрнига қўйиб, идеал газни ҳолатини чексиз кичик ўзгаришини, қайтар жараён учун умумий ҳолда қуйидагига эга бўламиз:

$$dq = C_V dT + PdV \quad (4.7)$$

Агарда T ва V ўзгарувчиларни боғлиқ бўлмаган ўзгарувчилар деб қабул қилсак, термодинамикани биринчи қонунидан қуйидагини оламиз:

$$dq = (\partial u / \partial T)_V dT + [P(\partial u / \partial T)_T] dV \quad (4.7)$$

$P=const$ бўлганда:

$$dq_P = (\partial u / \partial T)_V dT_P + [P(\partial u / \partial T)_T] dV_T$$

ёки, $dq_P = C_P dT_P$ бўлганлиги учун (4.8)

$$C_P = (\partial u / \partial T)_V + [P + (\partial u / \partial V)_T](\partial V / \partial T)_P$$

(4.5) тенгламани қўллаб, қуйидагини оламиз:

$$C_P = C_V + [P + (\partial u / \partial V)_T](\partial V / \partial T)_P \quad (4.9)$$

(4.9) тенглама умумий ҳолда C_P ва C_V ларнинг ўзаро боғлиқлигини ўрнатади.

Идеал газ учун $(\partial u / \partial V)_T = 0$ ҳолат тенгламаси $PV = RT$ дан $P(\partial V / \partial T)_P = R$ шунинг учун (4.10)

$$C_P = CV + R \text{ ва } C_P - C_V = R$$

бу тенгламани Майер тенгламаси деб юритилади ва 1 кмол учун қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\mu C_P = \mu C_V + \mu R \text{ ёки } \mu C_P - \mu C_V = 8.3142 \text{ кж / (кмол.град)}$$

Демак идеал газлар учун μC_P ва μC_V ларнинг айирмаси ўзгармас микдордир.

Ҳақиқий ва ўртача иссиқлик сиғим.

Термодинамик тизимнинг қандайдир жараёнига берилган элементар иссиқлик миқдорини чексиз кичик ҳароратлар фарқига бўлган нисбати ҳақиқий иссиқлик сиғими деб аталади.

Реал газларни ҳақиқий иссиқлик сиғимини икки қўшилувчини йиғиндиси билан ифодалаш мумкин.

$$C_X = C_{X0} + \Delta C_X$$

Биринчи қўшилувчи берилган газни сийракланган (идеал газ) ҳолатидаги ($P \rightarrow 0$ ёки $V \rightarrow \infty$ бўлгандаги) иссиқлик сиғими ва у фақат ҳароратга боғлиқ.

C_P ва C_V иссиқлик сиғимларнинг ҳароратга боғлиқлиги тахминан ҳароратни учинчи даражали полинома кўринишига эга.

$$C_{X0} = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

Ҳозирги пайтда ҳисоблашларда аниқроқ бўлган жадвалда бериладиган қийматлардан фойдаланилади.

Иккинчи қўшилувчи ΔC_X иссиқлик сиғимини босимга ёки солиштира ҳажмга боғлиқлигини белгилайди ва реал газнинг ички энергиясини потенциал ташкил этувчисини ўзгариши билан боғлиқ.

Амалий ҳисоблашда иссиқликни аниқлаш учун иссиқлик сиғимини ўртача қийматидан фойдаланилади.

Ҳароратларнинг t_1 дан t_2 оралиғидаги жараёни ўртача иссиқлик сиғими деб q_{1-2} иссиқлик сиғимини ҳароратлар айирмасига бўлган нисбатига айтилади.

$$C_{Xm} \Big|_{t_1}^{t_2} = q_{1-2,X} / (t_2 - t_1) \quad (4.11)$$

$q_{1-2,X}$ иссиқлик, $X=0$ бўлган жараёнда, (4.2) тенглама орқали аниқланади, шунинг учун

$$C_{Xm} \Big|_{t_1}^{t_2} = [1 / (t_2 - t_1)] \int_{t_1}^{t_2} C_X dt \quad (4.12)$$

(4.12) тенглама жисмни ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғими орасидаги боғлиқликни ўрнатади.

Агарда иссиқлик сиғими 0°C гача ҳарорат оралиғида жадвалда берилган бўлса, у ҳолда ўртача иссиқлик сиғими қуйидаги ифода орқали аниқланиши мумкин.

$$C_{Xm} \Big|_{t_1}^{t_2} = (C_{Xm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{Xm} \Big|_0^{t_1} t_1) / (t_2 - t_1) \quad (4.13)$$

Идеал газ қандайдир жараёнда t_1 ҳароратдан t_2 ҳароратгача иситилган бўлса, иситиш учун сарф бўлган иссиқлик қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$Q_X = m [C_{Xm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{Xm} \Big|_0^{t_1} t_1] = V_H [C_{Xm} \Big|_0^{t_2} t_2 - C_{Xm} \Big|_0^{t_1} t_1] \quad (4.14)$$

Идеал газ аралашмасининг иссиқлик сиғими.

Агарда газ аралашмаси массали қисм бўйича берилган бўлса, уни иссиқлик сиғими массали қисмини массали иссиқлик сиғими кўпайтмаларини йиғиндиси орқали аниқланади.

$$C_{V,ap} = g_1 C_{V1} + g_2 C_{V2} + \dots + g_n C_{Vn} = \sum_1^n g_i C_{Vi} \quad (4.15)$$

$$C_{P,ap} = g_1 C_{P1} + g_2 C_{P2} + \dots + g_n C_{Pn} = \sum_1^n g_i C_{Pi} \quad (4.16)$$

бу ерда $q_1, q_2, \dots, q_n$ - аралашма таркибига кирувчи газларнинг массали қисми.

Агарда газ аралашмаси ҳажмий қисм бўйича бершиш бўлса, уни ҳажмий иссиқлик сиғими ҳажмий қисмини ҳажмий иссиқлик сиғимига кўпайтмаларини йиғиндисига тенг бўлади.

$$C_{V,ap} = r_1 C_{V1} + r_2 C_{V2} + \dots + r_n C_{Vn} = \sum_1^n r_i C_{Vi} \quad (4.17)$$

$$C_{P,ap} = r_1 C_{P1} + r_2 C_{P2} + \dots + r_n C_{Pn} = \sum_1^n r_i C_{Pi} \quad (4.18)$$

бу ерда $r_1, r_2, \dots, r$ - аралашма таркибига кирувчи газларнинг ҳажмий қисми.

Аралашмани моляр иссиқлик сиғими қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$C_{V,ap} = r_1 \mu_1 C_{V1} + r_2 \mu_2 C_{V2} + \dots + r_n \mu_n C_{Vn} = \sum_1^n r_i \mu_i C_{Vi}$$

$$C_{P,ap} = r_1 \mu_1 C_{P1} + r_2 \mu_2 C_{P2} + \dots + r_n \mu_n C_{Pn} = \sum_1^n r_i \mu_i C_{Pi}$$

4-Мавзуга оид назорат саволлар.

1. Иссиқлик сиғими деб нимага айтилади?
2. Иссиқлик сиғимини миқдори нимага боғлиқ?
3. Иссиқлик сиғимларини турлари.
4. Майер тенгламаси.
5. Газ аралашмаси иссиқлик сиғими.
6. Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғимлар.

Адабиётлар

1. 40... 46 бетлар.
2. 62... 73 бетлар.
3. 20...21 бетлар
4. 20...23 бетлар.
5. 33...42 бетлар.

5-мавзу, 3-маъруза, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Термодинамиканинг биринчи қонунини моҳияти.
2. Термодинамиканинг биринчи қонунини аналитик ифодаси.
3. Термодинамик ҳолат кўрсаткичлари орқали ишни ва иссиқликни

- аниқлаш.
4. Ички энергия.
 5. Энталпия.
 6. Энтропия.
 7. PV на TS диаграммалар.

Таянч сўз ва иборалар.

Қонуннинг моҳияти; иссиқлик; иш; ички энергия; энталпия; энтропия қонунни ифодаси; қайтар жараён; қайтмас жараён.

Термодинамиканинг биринчи қонуни.

Термодинамиканинг биринчи қонуни, термодинамиковий тизимда ксчадиган иссиқлик ходисага нисбатан энергиянинг сақланиши ва айланиш қонунини хусусий кўриниши ҳисобланади. Иоляғияланган тизимда ҳамма энергияларнинг йгиндиси ўзгармас миқдорда деб энергияни сақланиш ва айланиш қонуни тушунтиради. Бу қонунга асосан, бир тизимда қандайдир энергиянинг турини камайиши жисмнинг бошқа тизимида энергиянинг кўпайиши кузатилиши мумкин.

Механик ҳаракатини иссиқликка айланиши ибтидоий даврдан маълум, лекин иссиқлик двигателларида иссиқликни механик ишга айланиши XVIII юз йилликнинг иккинчи яримида амалий жиҳатдан амалга оширилган. Иссиқликни механик ишга айлантиришга уринишлар бизнинг эраизгача ҳам бўлган, лекин уларни иссиқлик двигателини яратишга таъсири бўлмаган. Масалан Герон Александрийский бизнинг эраизгача бўлган биринчи юз йиллигида реактив куч орқали айланадиган шар ихтиро қилган. Шарни қизитганда ундан отилиб чиқадиган сув буғи реактив куч ҳосил қилган. XVII асрнинг бошларида италия олими Бранка буғни кинетик - энергиясини тик ўққа ўрнатилган гилдиракни айлантиришида фойдаланган.

XVIII асрнинг бошларида Папин поршенли буғ машинасини яратишга ҳаракат қилган. Фақат 1766 йили И.И. Ползунов орқали бундай машина яратилди. Шундай қилиб XVIII асрнинг бошларида иссиқликни механик ишга айлантириш амалга оширилди.

1842 йили Роберт Майер тажрибалар натижасида сарфланган иссиқлик Q билан олинган иш L ўртасида тўғри пропорционаллик мавжудлигини ўрнатди (кўрсатди) ва улар орасидаги миқдорий боғлиқликни аниқлади.

$$Q=AL$$

бу ерда A -ўзгармас миқдор, ишнинг иссиқлик эквиваленти. Агарда иссиқлик ва иш бир ҳил бирликда ўлчанса (жоулда), унда ишнинг иссиқлик эквиваленти бирга тенг бўлади, у ҳолда $Q=L$ бўлади. (5.1).

Ички энергия.

Жисмда ва жисм тизимида мужассамланган ҳамма энергия ички энергия деб аталади. Бу энергияни бир неча тур энергиялар йиғиндиси деб қаралади: молекулаларнинг илгариланма ва айланма ҳаракатлари энергиясини ва молекулардаги атомлар ҳаракатини тебранма ҳаракати энергиясини ўз ичига оладиган молекуланинг кинетик энергияси; электронлар энергиясини; ички ядро энергияси; молекулаларнинг ядролари ва электронлари энергияси ўзаро таъсирланиш энергияси; потенциал энергия; электромагнит нурланиш энергияси. Жисмнинг ички энергияси қуйидагига тенг.

$$U = U_{кин} + U_{ном} + U_0$$

бу ерда $U_{кин}$ - молекулаларнинг ички кинетик энергияси; $U_{ном}$ - молекулани ички потенциал энергияси; U_0 - доимий интеграл. Кинетик энергияни қуйидаги ташкил этувчиларга ажратиш мумкин.

$$U = U_{кинпост} + U_{кинвр} + U_{вол}$$

бу ерда $U_{кинпост}$ - молекулаларнинг илгариланма ҳаракатининг кинетик энергияси; $U_{кинвр}$ - молекулаларнинг айланма ҳаракатининг кинетик энергияси; $U_{вол}$ - молекуланинг атомлари ядросининг тебранма ҳаракат энергияси.

U_0 - миқдори нол энергия деб ҳисобланади еки абсолют нол ҳароратдаги ички энергия. Маълумки $T=0$ бўлганда молекулаларнинг таркибига кирувчи молекулалар ва атомларнинг ҳаракати тўхтади, лекин атомлар ичидаги заррачалар ҳаракати давом этади. Атомларда электронларнинг ҳаракати иссиқлик ҳаракатига кирмайди, улар ҳамма ҳароратда ҳам ҳаракатда бўлади, $T=0$ бўлганда ҳам. Ички энергияни абсолют қийматини термодинамик усул билан аниқлаб бўлмайди. Тизимни термодинамик таҳлил қилинаётганда унинг абсолют қиймати билан эмас жараёни кечишида унинг ўзгариши ҳисобга олинади, шунинг учун термодинамик масалалари ечишда U_0 нинг қиймати талаб қилинмайди ва одатда уни нолга тенг дсб қабул қилинади.

Техникий термодинамикада ички энергиянинг кинетик ва потенциал ташкил этувчиларининг ўзгарадиган жараёнлари кўрилади. Шунинг учун ички энергия тушунчасига идеал газларда молекуланинг кинетик ҳаракатини энергияси ва молекуладаги атомларнинг тебранма ҳаракати энергиясини ҳисобга олинади, реал газларда эса буларга қўшимча потенциал энергия ҳам ҳисобга олинади. $t^0=0^0C$ да идеал газ учун ички энергия нўл деб табул тилинган.

Ички энергиянинг кинетик ташкил этувчилари жисмни ҳарорати билан аниқланади, потенциал ташкил этувчиси эса берилган ҳароратда солиштирма ҳажмига ҳам боғлиқ. Тўлиқ ички энергия икки кўрсаткични функцияси деб ҳисобланади.

Ички энергияни миқдори жисмнинг массасига ҳам боғлиқ. 1кг мураккаб тизимнинг ички энергияси унинг ташкил этувчиларининг йиғиндисиغا тенг.

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i$$

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, термодинамик тизим ҳар бир ўзининг ҳолатида фақат битта ички энергия қийматига эга бўлади. Шунинг учун газни ички энергиясини ўзгариши жараёни ҳарактерига боғлиқ бўлмасдан берилган бошланғич ва охири ҳолатига боғлиқ бўлади.

$$U_2 - U_1 = f(P_2, V_2, T_2) - f(P_1, V_1, T_1) \quad (5.2)$$

Бу қуйидаги 5.1-расмда тасвирланган. ҳамма жараёнлар учун ички энергияни ўзгариши бир ҳил бўлади.

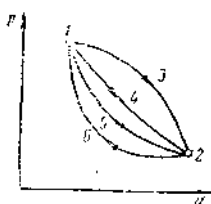
$$(3) \int_1^2 du = (4) \int_1^2 du = (5) \int_1^2 du = -(6) \int_2^1 du = (6) \int_1^2 du$$

Айланма жараёнларда ички энергиянинг ўзгариши нолга тенг

$$U_2 - U_1 = \int du = 0$$

Ички энергияни исталган икки кўрсаткични функцияси кўринишида келтириш мумкин.

$$U = f(T, V); \quad U = f_1(T, P); \quad U = f_2(P, V)$$



5.1-расм.

ёки ички энергиянинг тўлиқ дифференциали

$$\left. \begin{aligned} du &= (\partial u / \partial T)_V dT + (\partial u / \partial V)_T dV \\ du &= (\partial u / \partial T)_P dT + (\partial u / \partial P)_T dP \\ du &= (\partial u / \partial P)_V dP + (\partial u / \partial V)_P dV \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

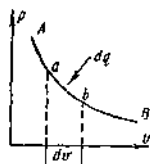
идеал газни молекулаларини ўзаро таъсирланиш кучи бўлмаганлиги учун, уни ички энергияси ҳажмга ёки босимга боғлиқ эмас, $(du/dv)_T = 0$ ва $(du/dp)_T = 0$, фақат ҳароратга боғлиқ $U = f(t)$

Демак идеал газни ички энергияси ҳарорати бўйича ҳосиласи тўлиқ ҳосиласи ҳисобланади

$$(du/\partial T)_P = (du/\partial T)_V = du/dT$$

Термодинамиканинг биринчи қонунини аналитик ифодаси.

dq иссиқлик кўринишида $a-b$ элементар ҳудудда келтирилган чексиз кичик миқдордаги энергия натижасида 1кг ишчи жисм маълум бир жараёни бажарган бўлсин; бунинг натижасида жисмнинг ҳарорати ва ҳажми ҳам чексиз dT ва dV кичик миқдорда мос ҳолда ортади (5.2-расм).



5.2-расм

Жисмнинг ҳароратини dT миқдорга ошишида молекулаларнинг тезлиги ошади ёки жисмнинг ички энергияси ортади. Жисмнинг ҳажмини dV миқдорга ортиши натижасида жисмнинг ички потенциал энергияси ортишига боғлиқ

бўлган молекулаларнинг орасидаги масофа ҳам ортади

Ички кинетик ва ички потенџиал энергиянинг йиџиндиси ички энергиянинг тўлиқ ўзгариши du ни кўрсатади.

Ҳажмнинг dV га ўзгаришида ташқи кучни енгиш учун жисм ташқи dl иш бажаради. Агарда ишчи жисмда бошқа ўзгаришлар бўлмаса ва кинетик энергиянинг кўринарли ҳаракати бўлмаса, энергиянинг сақланиш қонунига асосан элементар жараён учун, қабул қилинган қонун қондасига қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин.

$$du = dq - dl; \quad U_2 - U_1 = \int_1^2 dq - \int_1^2 dl = q_{1-2} - l_{1-2} \quad (5.4)$$

ёки қайтар жараён учун

$$dq = du - PdV; \quad q_{1-2} = U_2 - U_1 + \int_1^2 PdV \quad (5.5)$$

Олинган тенглама термодинамиканинг биринчи қонунини математик ифодаси ҳисобланади. У қуйидагича таърифланади: термодинамик тизимнинг ички энергиясининг ўзгариши тизимни иссиқлик dq шаклида олган энергияси ва бажарган ташқи dl ишини алгебраик йиџиндисига тенг ёки ишчи жисмга иссиқлик шаклида келтирилган энергия ишчи жисмнинг ички энергиясини ўзгаришига ва жисмни ташқи иш бажаришига сарф бўлади.

Термодинамиканинг асосий тенгламаси (5.5) энергиянинг сақланиш қонунига асосан жисмни фазода ҳаракатланмайдигани учун қабул қилинган.

Жисм фазода ҳаракатланганда асосий тенгламага қўшимча қўшилувчи $dw/2$ ни, 1кг газни кўрилатган жараён ҳудудида уни фазода силжишида кинетик энергияни ортишини ҳисобга оладигани, киритиш керак. Бу ҳолда термодинамикани биринчи қонунини тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$dq = du + dl' + \frac{dw^2}{2}$$

бу ерда dl' -газни ҳаракатидаги ташқи кучга қарши иши; (кенгайиш иши dl тенг эмас); $dw/2$ -газни ҳаракати натижасида уни ташқи кинетик энергиясини ортиши, эга бўлинган иш деб юритилади.

Термодинамиканинг биринчи қонуни тенгламаси (5.4) исталган жисм учун тааллуқли, хусусий ҳолда идеал газлар учун ҳам. Бу тенглама қайтар ва қайтмас жараёнларнинг ҳам ифодалайди. Қайтмас жараён учун

$$dq + dq_{TP} = du + dl + dl_{TP}$$

бу ерда dq_{TP} - ишқаланиш иссиқлиги; dl_{TP} -ишқаланиш кучига қарши иш.

Ишқаланиш кучини енгишга сарфланган иш тўлалигича ишқаланиш иссиқлигига айланади, шунинг учун $dq_{TP} = dl_{TP}$ демак (5.4) тенглама қайтмас жараёнларни ҳам ифодалайди.

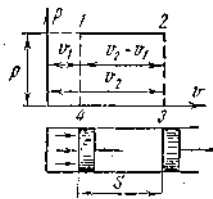
Жараённинг ишини аналитик ифодаси.

Ишчи жисмнинг ҳажмини ўзгариши ва уни ташқи фазода ҳаракати ёки унинг ҳолатини ўзгариши билан боғлиқ бўлган бир жисмдан иккинчи жисмга берилган энергия иш деб аталади. Ишни бажаришда иккита ёки бир нечта жисмлар иштирок этади. Иш бажарадиган биринчи жисм энергияни беради

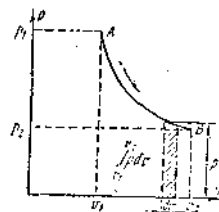
иккинчи жисм энергияни қабул қилади. Иш бир жисмдан иккинчи жисмга бериладиган энергияни макрофизиковий шаклида деб ҳисобланади.

Газни кенгайишида бажарадиган иши ҳолатнинг кўрсаткичлари P, V ва T ларнинг ўзгаришига боғлиқ. Газнинг кенгайишидаги ишини тенгламасини келтириб чиқариш учун хусусий ҳолни кўриб чиқамиз, яъни турғун жарёндаги ўзгармас босимдаги ишни олишни.

Цилиндрда босими P ва солиштира ҳажми V бўлган 1кг газ бўлсин; поршенни юзаси F га тенг. Агарда газга маълум миқдордаги иссиқликни келтирсак, у ўзгармас босимда кенгайди ва поршен янги 2-ҳолатга силжийди. (5.3-расм)



5.3-расм.



5.4-расм.

Поршенга таъсир қилувчи куч PF га тенг; поршеннинг силжиши S га тенг. Физикадан маълумки кучни масофага кўпайтмаси ишни ифодалайди.

$$l = PFS$$

FS эса солиштира ҳажмларнинг айирмаси $V_2 - V_1$ га тенг, шунинг учун

$$l = P(V_2 - V_1) = P\Delta V$$

Жисмни чексиз кичик ҳажмини ўзгаришида турғун ҳолатда тизимни бажарган элементар dl иши қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$l = PdV$$

Тизимнинг ҳажмини охириги ҳолатдаги ўзгаришидаги, ихтиёрий турғун жараёнда, бажарган l иши AB эгри чизик билан тасвирланади ва қуйидагига тенг бўлади (5.4-расм),

$$l = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

Жараёнда P ва V кўрсаткичларни функѝал боғлиқлигини ёки $P=f(V)$ кўринишидаги тенгламани билиб, кўрсатилган ораликдаги исталган турғун жараёнинг ишини аналитик усул билан аниқлаш мумкин.

Босими P' бўлган тизим ташқи мухитда иш бажарса, у ҳолда тизимнинг ҳажмини V_1 дан V_2 , гача ўзгаришида dV ортса кенгайиш иши $dl = P'dV$ га тенг бўлади.

$$l = \int_{V_2}^{V_1} P'dV \quad (5.6)$$

Турғун жараёнда $P' = P$

Агарда тизимнинг кенгайиши бўшлиқда содир бўлса, тизим билан ташқи мухит чегарасида P' босим нўлга тенг бўлса ва ташқи жисмнинг силжиши кузатилмаса иш нўлга тенг бўлади. Ҳажмни ўзгариши натижасида (5.6) ифода

билан аниқланадиган l ишдан ташқари, ҳажм ўзгармасдан ишчи жисмда ташқи кинетик энергияни ўзгаришини ҳам кузатиш мумкин (масалан, аралаштиргич орқали суюқликни айланиши, электр ва магнит кучларига қарши иш). Бу

жараёнда интеграл $l = \int_{V_1}^{V_2} P' dV = 0$ бўлади, чунки $dV=0$ бўлгани учун. Ташқи

манба билан бажариладиган иш l_v билан белгиланади. Бундан келиб чиққан ҳолда тизимнинг умумий иши кенгайиш иши билан ҳажм ўзгармасдан бажарилган ишлар йиғиндисидан иборат бўлади.

$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV + l_v$$

Газнинг кенгайишидаги ишни хаммасидан ҳам фойдаланиб бўлмаслиги мумкин.

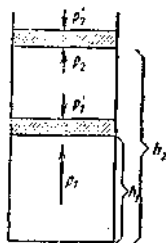
Газнинг ҳажмини ортишида, унинг босими P_1' дан P_2' га ўзгарганда, ишни бир қисми мухитни сиқишга сарф бўлиши мумкин. 1кг газни кенгайишидан ҳосил бўлган бу иш қуйидагига тенг бўлади. (5.5-расм).

$P_2' f h_2 - P_1' f h_1$ бу ерда f - поршеньнинг юзаси.

ёки

$$P_2' V_2 - P_1' V_1$$

$P_2' V_2$ ёки $P_1' V_1$ ларнинг ҳар бири иш бўлиб, V ҳажмли газни P' босимли мухитга киритиш учун сарфланади. Демак фойдали иш ёки эга бўлинган иш l' кенгайиш иши билан сиқиш ишининг айирмасига тенг бўлади.



5.5-расм.

$$l' = \int_{V_1}^{V_2} P' dV + l_v - (P_2' V_2 - P_1' V_1)$$

$$P' dV = (P' dV + V dP') - V dP' = d(P' V) - V dP' \quad \text{бўлганлиги учун}$$

$$\int_{V_1}^{V_2} P' dV = (P_2' V_2 - P_1' V_1) - \int_{P_1'}^{P_2'} V dP' \quad \text{бўлади.}$$

Бу ҳолда эга бўлинган иш

$$l' = - \int_{P_1'}^{P_2'} V dP' + l_v$$

Агарда $V_2 > V_1$ бўлса-газ кенгайди ва $\Delta V > 0$, $dV > 0$ - иш мусбат бўлади.

Агарда $V_2 < V_1$ бўлса-газ сиқилади ва $\Delta V < 0$, $dV < 0$ - иш манфий бўлади.

Агарда кенгайиш 1кг ҳисобига бўлмасдан m кг газ ҳисобига бўлса у ҳолда ҳажмнинг ўзгаришидаги иш қуйидагича ифодаланади.

$$L = m \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Турғун жараёндагы газнинг ҳажмини ўзгаришидаги иши (5.6) тенглама билан аниқланадиган PV диаграммадаги жараённинг ординатани чеккаси ва ҳажм ўқи чизиклари билан чекланган ABV_2V_1 юзаси билан тасвирланади. (5.4 - расм).

$$l = l' + P_2V_2 - P_1V_1$$

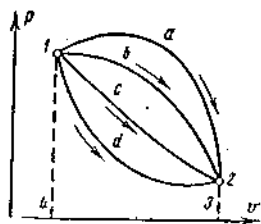
Абғиссани чеккалари ва босим ўқи билан чекланган жараённинг чизиклар орасидаги эга бўлинган газни ташқи иши $\int_{P_1}^{P_2} V dP$ ABP_2P_1 юза билан тасвирланади. (5.4-расм)

$$l' = l + P_1V_1 - P_2V_2$$

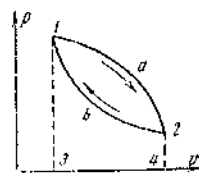
Эга бўлинган иш (фойдали) кенгайиш ишидан ортиқ ёки кам бўлиши ҳам мумкин; унинг миқдори PV диаграммадаги жараённинг эгри чизигининг оғишига боғлиқ.

Кенгайиш (сиқиш) иши жисмнинг фақат бошланғич ва охириги ҳолатларига боғлиқ бўлиб қолмасдан унинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиш жараёнини кечишига ҳам боғлиқ (5.6-расм). 1-a-2, 1-b-2, 1-c-2, 1-d-2 жараёнларнинг ҳаммаси бир хил бошланғич ва охириги ҳолатга эга, лекин ишни тасвирлайдиган юзаси турлича. Масалан, 1-a-2 жараёни юзни иши 1a234 юза билан, 1-d-2 жараёнинг кечишида газни юза билан тасвирланади.

PV -диаграммада 1-a-2-b-1 эгри чизик билан тасвирлангандай ишчи жисм айланма жараён ҳосил қилса, уни 1-a-2 чизик бўйича кенгайишида ишчи жисм 1a2341 юзага тенг бўлган фойдали иши бажаради, 2-b-1 эгри чизик бўйича сиқилса 1b2431 юзага тенг иш бажаради - бу иш манфий бўлади. Келтирилган юзаларнинг айирмаси ишчи жисмни бир айланма жараёнда ёки бир ғиклда бажарган ишлар йиғиндисини тасвирлайди; бу иш жараёни бекик чизиги ичидаги 1-a-2-b-1 юзага тенг. (5.7-расм)



5.6-расм.



5.7-расм.

Энthalпия.

Энthalпия (юнонча entholpo - иситаман) термодинамик тизимнинг ҳолат фукғияси бўлиб, у i ёки H ҳарфи билан белгиланади. Термодинамик тизимнинг ички энергияси U билан шу тизимни босими P ни ҳажми V га бўлган кўпайтмасини йиғиндисини энthalпия деб аталади.

$$i = U + PdV \quad (5.7)$$

Энталпия аддитив ёки экстенсив кўрсаткич ҳисобланади, чунки қиймати массага тўғри пропорционал.

Агарда босим P ни ва ҳарорат T ни боғлиқ бўлмаган кўрсаткич деб олинса, термодинамиканинг биринчи қонуни математик ифодаси қайтар жараён учун бошқача кўринишга эга бўлади.

$$dq = du + PdV = du + d(PV) - VdP = d(u + PV) - VdP$$

Бундан

$$d_{1,2} = i_2 - i_1 - \int_{P_1}^{P_2} VdP \quad (5.8)$$

Ёки

$$dq = di - VdP \quad (5.9)$$

(5.8) тенгламани интеграллаб термодинамик тизимнинг энталпиясини абсолют қийматини олиш мумкин. Интеграллаб олинган i ни ифодасига интеграллашни доимийси i_0 киради, яъний тизимнинг энталпияси маълум аддитив аниқлик билан аниқланади.

$$i = \int (dq + Vdp) + i_0 \quad (5.10)$$

Бу доимий қийматни ихтиёрий равишда танланади ва кўп ҳолларда идеал газнинг энталпиясини ($P \rightarrow 0$ бўлганда) 0°C да нўл деб ҳисоблайдилар, интеграллаш константаси эса ҳисобга олинмайди.

Ҳажмни ўзгариш иши PdV билан биргаликда тизимни ҳажмини ўзгаришига ва ташқи объектга беришга боғлиқ бўлмаган ҳолда иш бажарса ва термодинамик тизим қайтар жараён бўйича кечса, у ҳолда (5.5) ва (5.8) тенгламаларнинг ўнг томонига қўшимча l_V қиймат киради.

$$dq = du + PdV + dl_V \quad (5.11)$$

$$dq = di - VdP + dl_V \quad (5.12)$$

(5.11) ва (5.12) тенгламалар термодинамиканинг биринчи қонунини термодинамик тизим ҳолатини ўзгаришини қайтар жараёнлар учун умумийроқ бўлган аналитик ифодаси.

$P = \text{const}$ бўлганда (5.8) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$dq_P = di \quad (5.13)$$

Энталпиянинг дифференциалли d_i , ўзгармас босимдаги жараёнда иштирок этувчи, иссиқликнинг элементар миқдори. Ўзгармас босим жараёнидаги ҳамма иссиқлик энталпияни ўзгартириш учун сарфланади.

$$q_P = \int_1^2 di = i_2 - i_1 \quad (5.14)$$

(5.8) тенгламадан қуйидагини кўриш мумкин

$$di = dq + VdP \quad \text{ёки} \quad i_2 - i_1 = q + \int_{P_1}^{P_2} VdP \quad (5.15)$$

PV диаграммада элементар $abcd$ юза билан тасвирланган ташқи иссиқликдан VdP миқдорли ишга ортиқ (5.8-расм.).

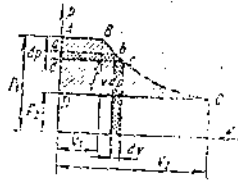
Энталпиянинг ўзгариши ишчи жисмнинг - бошланғич ва охириги ҳолатлари билан тўлиқ аниқланади, уларнинг оралиқ ҳолатига боғлиқ эмас.

Ғиклларда газнинг энталпиясини ўзгариши нўлга тенг.

$$\int di = 0$$

Энталпия ҳолатнинг асосий кўрсаткичларини функцияси бўлганлиги учун, газнинг ҳолатини белгилайдиган исталган боғлиқ бўлмаган ўзгарувчиларнинг ҳам функцияларини тўлиқ дифференциали di ҳисобланади.

$$i = f(P, V); \quad i = \varphi(V, T); \quad i = F(P, T)$$



5.8-расм



5.9-расм

$$\left. \begin{aligned} di &= (\partial i / \partial P)_V dP + (\partial i / \partial V)_P dV \\ di &= (\partial i / \partial T)_V dT + (\partial i / \partial V)_T dV \\ di &= (\partial i / \partial T)_P dT + (\partial i / \partial P)_T dP \end{aligned} \right\} \quad (5.16)$$

AB нукталар орасида кечадиган ҳамма жараёнларнинг энталпиясини ўзгариши бир ҳил бўлади. (5.9-расм).

Энтропия.

Термодинамик жараёнларни тўлиқ тадқиқот қилиш учун ва тадқиқотларни ва ҳисоблашларни осонлаштириш мақсадида термодинамикага Р.Клаузиус томонидан газнинг ҳолати бўлган энтропия киритилган. Энтропия юнонча entropia - айланиш, ўзгариш деган маънони беради.

Энтропия иссиқлик сифимига ўхшаш $\text{кЖ/кг}^{\circ}\text{C}$ бирлигида ўлчанади. Энтропия S ҳарфи билан белгиланади.

Энтропия ҳам термодинамик тизимнинг ҳолат функцияси эканлиги сабабли, уни тизим кўрсаткичлари ҳолатининг функцияси сифатида ифодалаш мумкин.

$$S = f_1(P, V); \quad S = f_2(P, T); \quad S = f_3(V, T)$$

Газларнинг ҳолат кўрсаткичи сифатида энтропияни график тарзида тасвирлаш учун тўғри бурчакли TS тизими координатидан фойдаланиш мумкин. Бундай TS координатадаги диаграмма TS -диаграмма деб аталади, иссиқлик ва энтропия диаграммаси деб ҳам аталади.

Агарда TS - диаграмма изотермик жараён $T = \text{const}$ бўлса, жараённинг 1-2 чизиғи S ўққа параллел кетади (5.10-расм). Бу ҳолатда тўғри бурчакни юзаси маълум масштабда изотермик жараёнда иштирок этгап q иссиқлик миқдорини кўрсатади.

$$q = (S_2 - S_1)T$$

Бу ерда S_1 - бошланғич ҳолатдаги 1кг газни энтропияси; S_2 -сўнгги ҳолатидаги 1кг газни энтропияси. $S_2 - S_1$ жараёндаги энтропияни ўзгариши. Бу ифодадан

$$S_2 - S_1 = q / T \quad (5.17)$$

Ёки элементар жараён учун $\Delta S = \Delta q / T$. Бу нисбат иссиқликни ўзгариш жараёнини сифатли характеристикаси ҳисобланади.

Энтропиянинг ўзгариши, ички энергия, энталпия ва айрим термодинамик микдорларини ўзгаришига ўхшаб, жараёнининг кечиш усулига боғлиқ бўлмай, жисмнинг бошланғич ва охири ҳолатларига боғлиқ.

$C_V = \text{const}$ бўлган изохор жараён учун

$$S_2 - S_1 = C_V \ln T_2 / T_1$$

$C_P = \text{const}$ бўлган изобар жараён учун

$$S_2 - S_1 = C_P \ln T_2 / T_1$$

Адиабатик жараён учун.

$$S_1 = S_2 = S = \text{const}$$

Политрон жараён учун

$$S_2 - S_1 = C \ln T_2 / T_1$$

Бу ерда C - Политрон жараёнини иссиқлик сифими.

5-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Ички энергия нима?
2. Ички энергия ҳолатнинг қандай кўрсаткичларига боғлиқ?
3. Айланма жараёнда ички энергияни ўзгариши нимага тенг?
4. Газни иши қайтар жараёнда кўпми ёки қайтмас жараёндами?
5. Энталпия нима?
6. Энтропия нима?
7. Ишни тарифи.

Адабиётлар.

1. 54...57 бетлар.
2. 14...20 бетлар.
3. 46...61 бетлар.
4. 22...40 бетлар.
5. 16...26 бетлар.
6. 42...54 бетлар.

6-мавзу, 4-маъруза 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

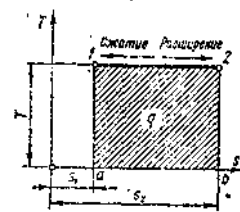
1. Термодинамиканинг иккинчи қонунини моҳияти
2. Термодинамиканинг иккинчи қонунини таърифи.
3. Иссиқлик машиналарининг термодинамик ғикллари.
4. Тўғри ва тескари ғикллар.
5. Термодинамик ф.и.к. ва совитиш коэффиценти.
6. Карно ғикли ва уни хусусиятини тахлили, аналитик ифодаси.

Таянч сўз ва иборалар.

Қонуннинг таърифи; ғикллар; термодинамик ф.и.к.; Карно ғикли; аналитик ифодаси.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни.

Термодинамиканинг биринчи қонуни, энергиянинг сақланиш ва айланиш умумий қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, иссиқлик ишга, иш эса иссиқликка айланиш мумкинлиги шартини кўрсатамасдан (ўрнатмасдан) тасдиқлайди.



5.10 - расм.

Биринчи қонун иссиқлик оқими йўналиши масаласини кўрмайди, йўналишини билмасдан уни турли кечишини ва натижасини айтиб бўлмайди.

Масалан биринчи қонун иссиқликни иссиқ жисмдан совуқ жисмга ёки совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўтиш-ўтмаслик масаласини ҳал қилмайди.

Кундалик кузатишлар ва тажрибаларга қараганда иссиқлик ўз-ўзидан иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтиши мумкин. Бу жараён атроф-муҳит ҳароратига тенглашгунча давом этади. Ишни сарф қилиш натижасида иссиқликни йўналишини ўзгартириш мумкин. Иссиқликнинг бу хусусияти уни ишдан кескин (фаркланишига сабаб бўлади.

Кандайдир жараёнда иштирок этаётган иш бошқа энергияларга ўхшаб, осон ва тўлиқ иссиқликка айланади. Табиатда ишни иссиқликка айланиши узлуксиз содир бўлади: ишқаланиш, урилиш, тормозлаш ва ш.ў.

Масалан, иссиқлик двигателларида иссиқлик ўзини бутунлай бошқача тутади. Иссиқлик манбаи билан иссиқлик қабул қилувчи орасида ҳароратлар фарқи бўлгандагина иссиқликни ишга айланиши содир бўлиши мумкин.

Бунда ҳамма иссиқликни ишга айланиши мумкин эмас. Демак, иссиқликни ишга ва ишни иссиқликка айлантиришда катта фарқ бор. Иссиқлик оқимини йўналишини кўрсатишга, иссиқликни ишга айланишини энг юқори оралиғини ўрнатишга имкон берадиган қонун янги қонун ҳисобланиб, термодинамиканинг иккинчи қонуни деб аталади.

Франғуз муҳандиси ва олими Сади Карно 1824 йили ўзининг оловнинг ҳаракатланувчи кучи тўғрисидаги мулоҳазаларида термодинамиканинг иккинчи қонунини моҳиятини баён қилди. «Ҳамма ерда, қаерда ҳаракатлар фарқи бўлса, ҳаракатланувчи кучлар содир бўлиши мумкин. Ҳаракатланувчи кучни ривожлантиришга олинган агентга иссиқликни ҳаракатланувчи кучи боғлиқ эмас: уни миқдори жисмнинг ҳароратини белгилайди, қайсики иссиқлик ўтказишни содир қилади. Ҳаракатланувчи кучни ривожлантириш учун газнинг ҳарорати биринчи галда юқори бўлиши керак. Шу сабабли совитиш ҳам иложи бориша кўпроқ бўлиши керак. Қачондир ёнилғини ҳаракатланиш кучини ҳаммасини ишлатишга умид қилиш керак эмас».

Термодинамикани иккинчи қонуни Клаузиус томонидан қуйидагича умумийроқ шаклида баён қилинган. «Иссиқлик совуқ жисмдан иссиқ жисмга ўзидан-ўзи ўтмайди».

Айланма жараён.

Узлуксиз ишлаб турадиган иссиқлик машинасини барпо қилиш учун кўрилган термодинамик жараёнларнинг бирортасидан ҳам фойдаланиб бўлмайди, улар бирор афзалликка эга бўлса ҳам. Машинани узлуксиз ишлашини таъминлаш учун жисмни кенгайишидан сўнг уни сиқиб бошланғич ҳолатига келтириш керак, ундан кейин кенгайиш жараёни қайтарилади. Бундан фойдали иш олиш учун сиқишда бажарилган иш кенгайишда бажарилган ишдан кам бўлиши керак, бундай бўлиши учун сеқиш чизиғи кенгайиш чизиғидан пастда ётиши керак (6.1 расм). Ишчи жисм узининг ҳолатини сиқиш ва кенгайишида ўзгартириб ва даври равишда бошланғич ҳолатига қайтиб бекик жараён ҳосил қилиши айланма

жараён ёки ғикл

Агарда термодинамик жараёнларнинг айримлари тўғри (кенгайиш жараёни) ёки тескари (сиқиш жараёни) бўлса, айланма жараён ёки ғикл ҳам тўғри ва тескари бўлиши мумкин.

PV диаграммасида кўрсатилгандек (6.1-расм), соат мири йўналиши бўйича кечадиган тўғри ғиклда кенгайиш чизиғи A_1B сиқиш чизиғидан юқорида жойлашади, соат мири йўналишига тескари бўйича кечадиган тескари ғиклда (6.2-расм) A_2B сиқиш чизиғи кенгайиш чизиғидан юқорида жойлашади. Тўғри ғиклда, A_1B_2A , q_1-q_2 микдордаги иссиқликни сарфи натижасида, иш бажарилади. Тескари ғиклда ташқаридаги механик энергия сарфланиши натижасида q_2 иссиқлик совитгичдан иссиқ манбага ўтиши содир бўлади.

Тўғри ғикл бўйича ишлайдиган машиналарга иссиқлик двигателлари, тескари ғикл бўйича ишлайдиган машиналарга совитгичлар ва иссиқлик насослари киради. Қайтар ғикллардан ташкил топган жараёнлар қайтар жараёнлар дейилади.

Термодинамиканинг биринчи қонунини математик ифодаси айланма жараён учун қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$q_1 - q_2 = U_1 - U_2 + l$$

бу ерда q_1 , - манбадан ишчи жисмга берилган иссиқлик; q_2 - ишчи жисмдан совитгичга берилган иссиқлик; l - ишчи жисмиб бир ғиклдаги иши.

Қайтар ғиклда ишчи жисми сўнги (охирги) ҳолати бошланғич ҳолатига ўхшаш, A нуқтадаги ички энергия $U_2=U_1$ бўлади, демак $U_2-U_1=0$. Шунинг учун юқорида келтирилган тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$q_1 - q_2 = l$$

Бу тенглама илғари тарифланган ҳолатни тасдиқлайди, яъни ишчи жисмга бир ғиклда берилган иссиқлик q_1 ни ҳаммасини ишга айлантириш мумкин эмас, фақат унинг $q_1 - q_2$ қисмини; иссиқликнинг қолган қисми q_2 совитигичга узатилади. Ишга айлантирилган иссиқлик $q_1 - q_2$ фойдали иш деб аталади. Бундан термик фойдали иш коэффициентини (ф.и.к) деган шунча келиб чиқади.

$$\eta_1 = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l}{q_1}$$

$$\text{ёки} \quad \eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

термик ф.и.к. идеал ғиклни самарадорлигини кўрсатади, яъни иссиқлик фойдаланиш бўйича ғиклни такомиллашганлик даражасини кўрсатади

Карно ғикли.

Реал ғиклларнинг ҳаммаси-қайтмас жараёндир, шунинг учун бу ғиклда ишлайдиган иссиқлик машиналари ҳам қайтмас ғикллар бўлиб ҳисобланади, демак нотурғун ғикл.

Бундай ғиклларнинг тадқиқотинг соддалаштириш графикда тасвирлаш мумкин бўлиши учун улар турғун жараёнлардан ташкил этиши керак.

Иссиқлик двигателнинг Карно-ғикли-қайтар, яъни турғун айланма

жараён. Икки иссиқлик манбан орасида ўзгармас ҳароратда (T_1 иссиқлик берувчи ва T_2 -иссиқлик қабул қилувчи) ва ишчи жисм-идеал газ билан ғиклни содир қилади.

Карно ғикли икки изотермадан ва икки адиабатдан ташкил топган ва қуйидаги тартибда кечади (6.3-расм).

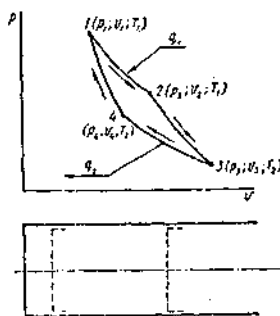
Иссиқлик манбаидан q_1 , иссиқлик бериш билан 1-2 изотермик кенгайиш.

Газнинг ҳароратини T_1 дан T_2 гача пасайишида 2-3 адиабатик кенгайиш.

Совитгичга q_2 иссиқликни бериш билан 3-4 изотермик сиқиш.

Газнинг ҳароратини T_2 дан T_1 гача кўтаришда 4-1 адиабатик сиқиш.

Карно ғикли қуйидагича кечади. 1 нуқтада газни кўрсаткичлари P_1, V_1, T_1 деб белгиланади. Бу вақтда ишчи жисм ҳарорати T_1 бўлган иссиқлик берувчи билан боғланади. Поршенни ўнга қараб силжишида цилиндрдаги газнинг босими камаяди, солиштирма ҳажми ортади. Поршен 2 нуқтага келгунча келтирилган ходиса давом этади. 2 нуқтада кўрсаткичлари P_2, V_2, T_2 бўлади. Бу жараёнда ҳарорат ўзгармас бўлади. Чунки ишчи жисмни ва иссиқлик берувчини ҳарорати 1-2 кенгайиш жараёнида бир хил. Шундай қилиб, 1-2 жараён изотермик жараён бўлади. Бу жараёнда иссиқлик берувчидан ишчи жисмга q_1 солиштирма иссиқлик ўтади.



6.3-расм.

Цилиндр 2 нуқтада ташқи муҳит билан тўлиқ изоляғия қилинади, поршенни ўнга силжишида босимни кейинчалик камайиши 2-3 адиабат бўйича кечади, яъни ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмасдан кечади. Поршен ўнг тамондаги чекка нуқтага (3) келганда кенгайиш жараёни тугайди, газни босими ва солиштирма ҳажми P_3, V_3 га тенглашади, ҳарорат эса T_2 гача камаяди, иссиқлик қабул қилувчини ҳароратига тенглашади. Поршенинг бу ҳолатида изоляғия олиниб, цилиндрдаги ишчи жисм иссиқлик қабул қилувчи билан боғланади. Агарда поршенга таъсир қилаётган босимини оширсак, ишчи жисмни ҳарорати T_2 ўзгармаган ҳолда поршен чапга силжайди. Демак бу сиқиш жараёни изотермик бўлади. Бу жараёнда солиштирма иссиқлик q_2 ишчи жисмдан иссиқлик қабул қилувчига ўтади.

Поршен чапга (ҳаракати) кўчиши натижасида кўрсаткичлари P_4, V_4 , ва T_2 бўлган 4 нуқтада иссиқлик қабул қилувчидан ажралади.

Ишчи жисмни кейинчалик сиқилиши 4-1 адиабат бўйича ҳароратни кўтарилиши билан кечади. Иссиқлик қабул қилувчини ишчи жисмдан ажралган вақтидаги нуқтани шундай қабул қилиш керакки бунда поршенни чап чекка нуқтага келиши таъминлансин яъни-ишчи жисмни кўрсаткичларини

бошланғич қийматлари P_1 , V_1 , T_1 бўлган ҳолатга.

Ихтиёрий ғиклнинг ифодаси $\eta_1 = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$ га изотермик жараённинг q_1 ва q_2

ларнинг қийматлирини ўрнига қўйиб Карно ғиклининг термик ф.и.к. оламиз.

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Демак Карно ғиклининг термик ф.и.к. ғикл кечадиган ҳароратларнинг нисбатига боғлиқ экан.

Карнонинг регенератив ғикли.

Иссиқлик двигателлари ғиклларининг яна битта муҳим ҳилини анализ қиламиз. 6.4-расмдаги T - S диаграммада тасвирланган ва иккита изотерма ҳамда иккита ихтиёрий эквидистант эгри чизиқлардан иборат қайтар ғиклни кўриб чиқамиз.

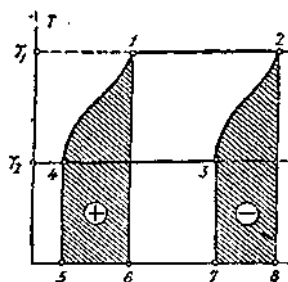
4-1 ва 2-3 эгри чизиқлар эквидистантдир ва бу эгри чизиқларни мос бўлган қайтар жараёнларни амалга ошириш учун кўп сонли ғиклик манбалари бўлиши зарур.

2-15 жараёнда иш жисмидан иссиқлик олинади (-) бу иссиқлик миқдори 2-8-7-3-2 юза билан аниқланади ва 4-1 жараёнда иш жисмига келтириладиган (+) иссиқликка тенг бўлади, бу иссиқлик миқдори эса бир хил катталиқдаги 1-5-6-4-1 юза билан аниқланади. Иссиқлик манбаларини регенераторлар деб аталадиган иссиқлик манбаларига алмаштириш мумкин, бу регенераторлар 4-1 жараёнда иссиқлик манбаларига 2-3 жараёнда иш жисмдан қайтиб қелган иссиқликнинг ўзини беради. Ғиклнинг содир бўлиши натижасида чексиз кўп сонли регенераторлардан ҳар қайсиси пировардида иссиқлик олмайди ва иссиқлик бермайди. Ғикл ичида иш жисмта келтирилган $Q_1 = T_1(S_2 - S_1)$ иссиқлик 1-2-8-6-1 юза билан, олинадиган $Q_2 = T_2(S_3 - S_4)$ иссиқлик 3-2-6-5-4-3 юза билан тасвирланади. 4-1 ва 3-2 эгри чизиқлар эксвидистант бўлганлигидан

$$S_2 - S_1 = S_3 - S_4 \quad \text{бундан}$$

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \eta_1^{k-p, Kq}$$

Кўриб чиқилган ғикл иссиқликни тўла регенерағиялаш ғикли ёки регенератив ғикл деб аталади. Юза (+) нинг юза (-) га нисбати билан аниқланадиган регенерағия даражаси бу ғиклда бирга тепг; регенерағия даражаси бирдан кичик бўлса, ғикл чала регенерағияли ғикл деб аталади. Регенерағиялаш даражасининг ортиши ғиклни Карно ғиклига яқинлаштиради ва кўриб чиқилган ҳолдан кўринишича, чегарада $\eta_1^{k-p, Kq}$ бўлади.

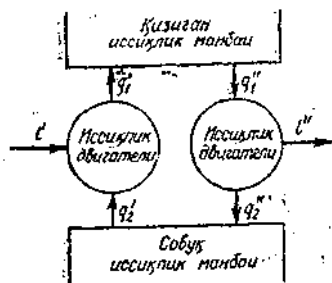


6.4-расм.

Карно назарияси.

Иккита иссиқлик манбаи орасида амалга ошириладиган қайтар ғиклнинг термик ф.и.к. бу ғиклни амалга оширишда фойдаланилган иш жисмининг хоссасига боғлиқ бўлмайди.

Бу теорема тескарисидан исбот қилинади. Иссиқлик двигателининг биронта иш жисми 1 ёрдамида иккита иссиқлик манбаи орасида амалга ошириладиган қайтар ғиклни кўриб, чиқамиз: бу ғиклнинг термик ф.и.к. ни η'_T билан белгилаймиз. Шундан кейин иссиқлик двигателининг бошқа иш жисми ёрдамида худди ўша иссиқлик манбалари орасида амалга ошириладиган қайтар ғиклини кўриб чиқамиз; бу двигател ғиклининг термик ф.и.к. (уни η''_T орқали белгилаймиз) биринчи двигател ғиклининг термик ф.и.к. идан фарқ қилади деб фараз этамиз бунда аниқлик учун $\eta''_T > \eta'_T$ бўлади деб ҳисоблаймиз.



6.5-расм.

Энди, иккинчи двигател тўғри ғиклни амалга оширмоқда, яъни иссиқ манбадан Q_1'' иссиқликни олиш ва совуқ манбага Q_2'' иссиқликни бериш ҳисобига l_{η}'' иш бажармоқда деб фараз қилайлик. Бу билан бир йўла худди шу иссиқлик манбалари орасида биричи двигател тескари ғиклни амалга оширмоқда, яъни бирор ташқи манбадан l_{η} иш келтирилиш ҳисобига совуқ манбадан Q_2' иссиқликни олиб, иссиқ манбага $Q_1' = l_{\eta}' + Q_2'$ иссиқлик узатади. Айнан бир хил иссиқлик манбалари орасида амалга ошириладиган бу ғиклларнинг тизими 6.1-расмда келтирилган. Агар бу двигателлардан бирининг ғиклида қатнашаётган иш жисми миқдори берилган бўлса, у ҳолда, бошқа двигателдаги иш жисми миқдорини Q_1'' иссиқликка тенг бўладиган қилиб танлаш мумкин. Термик ф.и.к. нинг ғиклда қатнашаётган иш жисми миқдорига

мутлақо боғлиқ эмаслиги тушунарли - у, 1 кг иш жисми иштирок этадиган ғикл учуи ҳам 100 кг иш жисми иштирок этадиган ғикл учун ҳам бир ҳил бўлади.

Биринчи двигател ғиклида иш жисмига ташқаридан келтириладиган ишга мувофиқ қуйидагига тенг:

$$l_{\text{ц}}' = \eta_T' Q_1'$$

Иккинчи двигател ғиклида бажариладиган иш қуйидаги тенг:

$$l_{\text{ц}}'' = \eta_T'' Q_1''$$

Биз шартланиб олганимиздек

$$\eta_T'' > \eta_T' \quad Q_1'' = Q_1'$$

бўлганлигидан у ҳолда, бинобарин

$$l_{\text{ц}}'' > l_{\text{ц}}' \text{ ёки, худди шунинг ўзи}$$

$$l_{\text{ц}}'' - l_{\text{ц}}' = \Delta l \text{ бўлади.}$$

Бу ерда Δl -иккинчи двигател ғиклида олинган иш миқдорининг биринчи двигател ғиклида ташқаридан келтирилган иш миқдориадан ортиқлиги.

Биринчи ва иккинчи двигателлар ғиклининг термик ф.и.к. ифодаларини таққослашдан

$$\eta_T' = \frac{Q_1' - Q_2'}{Q_1'} \quad \text{ва} \quad \eta_T'' = \frac{Q_1'' - Q_2''}{Q_1''}$$

$\eta_T'' > \eta_T'$ тенгсизлиқни ҳисобга олиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{Q_1'' - Q_2''}{Q_1''} > \frac{Q_1' - Q_2'}{Q_1'} \quad \text{энди} \quad Q_1' = Q_1'' \text{ бўлганлигидан}$$

$$Q_1'' - Q_2'' > Q_1' - Q_2' \quad \text{ва} \quad Q_2' > Q_2'' \text{ ларга эга бўламиз.}$$

Бинобарин тескари ғиклда совуқ манбадан олинадиган иссиқлик миқдори тўғри ғиклини амалга ошириш натижасида совуқ манбага берилган иссиқлик миқдorigа қараганда кўп бўлади. Иссиқ манбага келганда $Q_1' = Q_1''$ бўлганлигидан иссиқ манбада (запас) жамғарилган энергия миқдори ўзгармайди. Шундай қилиб, биз қуйидаги ҳулосага келамиз: кўриб чиқиладиган иккита-тўғри ва тескари қайтар ғиклар амалга оширилиши натижасида совуқ манбадан иссиқлик $(\Delta Q = Q_2' - Q_2'')$ олинади ва бунда шу иссиқлик миқдorigа эквивалент бўлган иш $(\Delta l = \Delta l'' - \Delta l')$ бажарилади, ваҳоланки, иссиқ манбанинг иссиқлик ҳолатида ҳеч қандай ўзгаришлар содир бўлмайди.

Бу ҳулоса термодинамиканинг иккинчи қонунининг Планк беради тарифига тескаридир. Винобарин, биз кўриб чиқаётган турли иш жисмлиги билан айнан бир хил иссиқлик манбаларининг орасида амалга оширилади кўриб чиқаётган қайтар ғиклар термик ф.и.к. ининг катталиги турлига бўлади деб дастлабки қилган фаразимиз нотўғри бўлиб чиқди. Шундай қилиб Карно назарияси исботланди.

6-мавзу оид назорат саволлари.

1. Айланма ғиклда берилган иссиқликни ҳаммасини ишга айлантириш мумкинми?

2. Термодинамиканинг иккинчи қонунини асосий таърифи.
3. Иссиқликни ишга узлуксиз айлантириш учун қандай шароит керак бўлади?
4. Ғикл ёки айланма жараён деб нимага айтилади?
5. Карно ғикли қандай жараёнлардан ташкил топган?
6. Карнонинг ғиклини ф.и.к. бирга тенг бўлиши мумкинми?
7. Карнонинг тескари ғикли бўйича қандай машиналар ишлайди?
8. Карно назариясини мохияти.

Адабиётлар.

1. 57...62, 138...143 бетлар.
2. 26...33 бетлар.
3. 95... 123 бетлар.
4. 40...95 бетлар.
5. 45...51 бетлар.
6. 79... 105 бетлар.

7-мавзу, 5-маъруза, 2-соат.
Термодинамик жараёнлар.
Қўриладиган масалалар.

1. Ишчи ҳолатини ўзгариш жараёнини тадқиқотини умумий услуби.
2. Политропик жараёнлар.
3. Политропик жараёнларнинг асосий тавсифи.
4. PV ва TS диаграммаларда тасвирланиши.
5. Асосий термодинамик жараёнлар: изохорли, изобарли, изотермикли ва адиабатли.

Таянч сўз ва иборалар.

Тадқиқотлар услуби; политропли жараён; изохорли жараён; изобарли жараён; изотермикли жараён; адиабатли жараён.

Термодинамик жараёнлар.

Термодинамиканинг биринчи қонуни иссиқлик миқдорини, ички энергиянинг ўзгаришини ва газни ташқи ишини ўзаро боғлиқлигини ўрнатади, бироқ жисмга берилаётган ва ундан олинаётган иссиқлик миқдори жараёнини характериға боғлиқ.

Техникада назарий тадқиқотлар ва амалий ишлар учун катта аҳамиятга эга бўлган асосий жараёнларга қуйидаги жараёнлар киради: ўзгармас ҳажмда кечадиган изохор жараён; ўзгармас босимда кечадиган изобар жараён; ўзгармас ҳароратда кечадиган изотермик жараён; ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмасдан кечадиган адиабат жараён.

Булардан ташқари, маълум шароитда асосий жараёнларини умумлаштирувчи жараёнлар гуруҳи ҳам мавжуд. Бу жараёнлар политропик жараёнлар деб аталиб, жараёнда иссиқлик сифимини доимилиги билан характерланади.

Барча жараёнлар учун тадқиқотларни умумий услуби ўрнатилади, улар қуйидагилардан иборат:

PV иа TS диаграммаларда жараённи эгри тенгламалари келтириб чиқарилади;

жараёнинг бошланишида ва охирида ишчи жисмнинг асосий кўрсаткичлари орасида боғлиқлиги ўрнатилади;

Идеал газни ҳамма жараёнлари учун маъқул бўлган формула орқали ички энергияни ўзгаришини аниқлаш:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \int_{t_1}^{t_2} C_V dt = C_{Vm} \int_0^{t_2} dt - C_{Vm} \int_0^{t_1} dt$$

ёки ўзгармас ҳажмда;

$$U_2 - U_1 = C_V(t_2 - t_1);$$

Газнинг ҳажмини ўзгариш иши асосий ифода орқали ҳисобланади

$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} f(V) dV;$$

Жараёнда иштироқ этувчи иссиқлик миқдори қуйидаги ифода орқали

аниқланади.

$$q_{1,2} = \int_{t_1}^{t_2} C_X dt = C_{Xm} \int_0^{t_2} dt - C_{Xm} \int_0^{t_1} dt;$$

Ҳамма идеал газлар учун мақбул бўлган ифода орқали жараёнда энталпияни ўзгариши аниқланади

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

ёки доимий иссиқлик сиғими учун

$$i_2 - i_1 = C_P (t_2 - t_1)$$

Идеал газ учун энтропияни ўзгариши қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$S_2 - S_1 = C_V \ln T_2 / T_1 + R \ln V_2 / V_1$$

$$S_2 - S_1 = C_P \ln T_2 / T_1 - R \ln P_2 / P_1$$

Кўриладиган жараёнлар қайтар жараёнлар деб қаралади.

Изохор жараён.

Ўзгармас ҳажмда кечадиган жараёнлар изохор жараён деб аталади ($dV = 0$ ёки $V = const$). Жараёнинг эгри чизиғи изохор чизиғи деб аталади (7.1 -рас.м).

Идеал газнинг ҳолат тенгламасига асосан $PV = RT$ $V = const$ бўлганда $P/T = R/V = f(V) = const$ ни оламиз.

7.1-расм. $V = const$ бўлганда PV ва TS диаграммалари.

Ўзгармас ҳажмда гани босими абсолют ҳароратга туғри пропорционал ҳолатда ўзгаради.

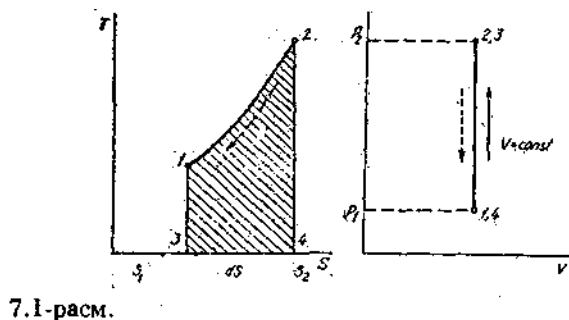
$$P_1 / P_2 = T_1 / T_2 \quad (7.1)$$

$V = const$ бўлганда газни ташқи иши йўлга тенг, чунки $dV = 0$

Демак
$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV = 0$$

Ташқи муҳитга берилиши мумкин бўлган фойдали иш қуйидагига тенг бўлади.

$$l' = \int_{P_1}^{P_2} V dP = V(P_2 - P_1)$$



7.1-расм.

Жараёнд иштирок этувчи иссиқликнинг миқдори.

$$q_{V,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} (du / dt)_V dt = \int_{t_1}^{t_2} C_V dt = C_V (t_2 - t_1) = U_2 - U_1 \quad - \text{ўзгармас иссиқлик сиғимда}$$

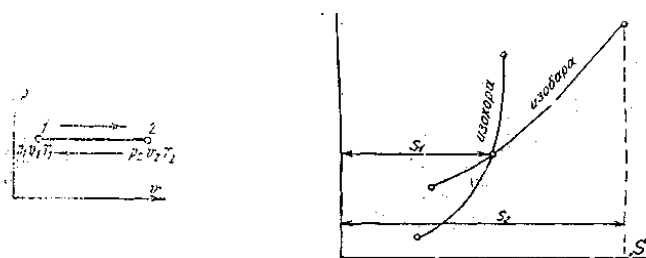
$$q_{V,1x-2} = U_2 - U_1 = C_{Vm} \left|_{0}^{t_2} t_2 - C_{Vm} \left|_{0}^{t_1} t_1 \quad - \quad (7.2) \quad \text{ўзгарувчан иссиқлик сиғимда}$$

энтропиянинг ўзгариши

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} (ds / dt)_V dT = C_V \ln T_2 / T_1 = C_V \ln P_2 / P_1 \quad (7.3)$$

Изобар жараён.

Ўзгармас босимда кечадиган жараён изобар жараён деб аталади.
(7.2-расм).



7.2-расм. $P=const$ бўлганда жараённинг PV ва TS диаграммалари.

Изобар жараёни учун идеал газнинг ҳолат тенгламасидан

$$V/T = R/P = \varphi(p) = const$$

Бу нисбат Гей-Люссак қонуни деб аталади.

1-2 жараён учун

$$V_1/V_2 = T_1/T_2 = \rho_2/\rho_1 \quad (7.4)$$

Газнинг бир хил миқдордаги ҳажми изобар жараёнда абсолют ҳароратга тўғри пропорционалда ўзгаради. Газни кенгайишида унинг ҳарорати ортади, сиқилишида-камаяди.

Ҳажмнинг ўзгаришидаги солиштирма иш қуйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$l = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1) \quad \text{ёки} \quad (7.5)$$

$$l = R(T_2 - T_1) = R(t_2 - t_1) \quad (7.6)$$

$P=const(dP=0)$ бўлганда термодинамиканинг биринчи қонунини асосий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга.

$$dq_p = C_p dt = di$$

Иссиқлик сиғими ўзгармас бўлгандаги изобар жараёнда жисмга берилган иссиқлик миқдори тенг бўлади.

$$q_{p,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} (di/dt)_p dt = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt = C_p(t_2 - t_1) = i_2 - i_1 \quad (7.7)$$

Иссиқлик ўзгарувчан, бўлганда

$$q_{p,1x-2} = \int_{t_1}^{t_2} C_p dt = C_{pm} \left| t_2 - C_{pm} \right|_{t_1}^{t_2} = i_2 - i_1 \quad (7.8)$$

$q_{1,2}$ берилган иссиқликнинг $P(V_2 - V_1)$ га тенг бўлган қисми кенгайиши ишига ўтади қолгани жисмни ички энергиясини оширади.

Ўзгармас иссиқлик сиғимидаги қайтар изобар жараёнда энтропияни қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$S_2 - S_1 = C_p \ln T_2/T_1 - R \ln P_2/P_1$$

$P=const$ бўлганда $\ln P_2/P_1 = 0$, шунинг учун,

$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} (ds/dt)_p dt = \int_{T_1}^{T_2} (C_p/T) dT = C_p \ln T_2/T_1 = C_p \ln V_2/V_1 \quad (7.9)$$

Изотермик жараён.

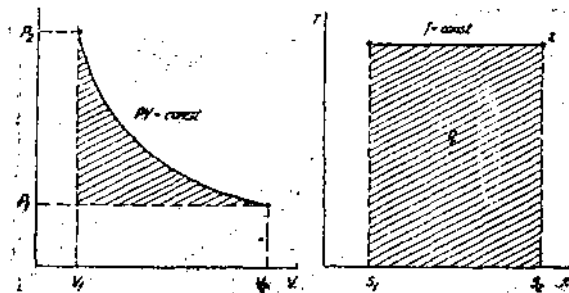
Ўзгармас ҳароратда кечадиган жараёнлар изотермик жараён деб аталади

($T = \text{const}$ ёки $dT = 0$). Идеал газнинг изотермик жараёни учун
 $PV = RT = \psi(T) = \text{const}$

ёки

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \text{ва} \quad P_1 / V_1 = P_2 / V_2 \quad (7.10)$$

Ўзгармас ҳароратда газнинг ҳажми босимига тесқари пропорционалда ўзгаради.



7.3-расм. Изотермик жараённинг PV ва TS диаграммалари.

PV -диаграммада изотермик жараён тенгламани гипербола (шаклига) кўринишига эга.

$T = \text{const}$ бўлганда термодинамиканинг биринчи қонунини асосий, тенгламаси содда кўринишга эга.

$$dq = dl + du \quad \text{ва} \quad q_{1,2} = l_{1,2}$$

Ишчи жисмга берилган иссиқлик миқдори сон жиҳатидан ҳажмни ўзгаришидаги ишга тенг. Ҳажмнинг ўзгаришдаги солиштирма иши қуйидагига тенг.

$$l = \int_{V_2}^{V_1} P dV$$

Изотермик жараёнда $PV = P_1 V$ ёки $P = P_1 V_1 / V_2$ бўлгани учун

$$l = P_1 V_1 \int_{V_2}^{V_1} dV / V \quad \text{тенгламани интеграллаб қуйидагини оламиз}$$

$$l = P_1 V_1 \ln V_2 / V_1 = q \quad (7.11)$$

Изотермик жараёнда иссиқлик сиғими

$$C_T = dq / dt = dq / 0 = \pm \infty$$

Идеал газнинг энталпияси ва ички энергияси ўзгармайди, яъни $di = 0$ ва $du = 0$.

Энтропияни ўзгариши

$$S_2 - S_1 = C_V \ln T_2 / T_1 + R \ln V_2 / V_1 \quad \text{бундан}$$

$$S_2 - S_1 = R \ln V_2 / V_1 \quad \text{ва} \quad S_2 - S_1 = R \ln P_1 / P_2 \quad (7.12)$$

Изотермик жараёнда иштирок этувчи иссиқлик энтропия ($S_2 - S_1$) ни абсолют ҳарорат T га кўпайтмасига тенг

$$q = T(S_2 - S_1)$$

Адиабатик жараён.

Иссиқлик берилмай ва олинмай кечадиган жараён, яъни, ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайдиган жараён адиабатик жараён деб аталади. Бу жараён учун $dq = 0$ ва $q = 0$ бўлиши шарт. $dq = 0$ бўлганда термодинамиканинг

биринчи қонуни тенгламаси.

$$C_p dT - V dP = 0 \quad \text{ва} \quad C_v dT + P dV = 0 \quad \text{бўлади.}$$

Биринчи тенгламани иккинчи тенгламага бўлиб

$$C_p dT / C_v dT = - \frac{V dP}{P dV} \quad \text{ёки} \quad k \frac{dV}{V} = - \frac{dP}{P}$$

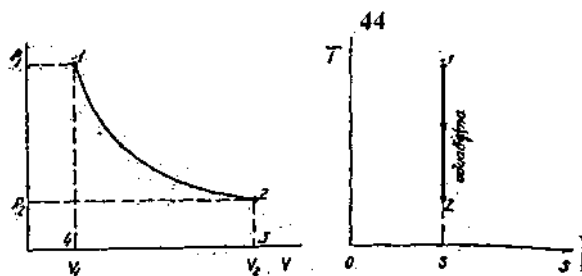
$k = \text{const}$ ($C_p = \text{const}$ ва $C_v = \text{const}$) лигини ҳисобга олиб бу тенгламани интегралласак.

$$k \int_{V_2}^{V_1} dV / V = - \int_{P_2}^{P_1} dP / P \quad \text{ва} \quad k \ln V_2 / V_1 = \ln P_1 / P_2 \quad \text{ларни оламиз}$$

Бу тенгламани потенғирлаб.

$$(V_2 / V_1)^k = P_1 / P_2 \quad \text{ва} \quad P_1 V_1^K = P_2 V_2^K \quad \text{ларни оламиз}$$

Бундан адиабат тенгламаси $PV^K = \text{const}$ бўлади (7.13) бу ерда к-адиабат кўрсаткич



7.4-расм. Адиабатик жараёнининг PV ва TS диаграммалари

Адиабат жараёнда асосий кўрсаткичларнинг ўзаро боғлиқлигини кўриб чиқамиз.

Адиабат тенгламасидан

$$P_1 / P_2 = (V_2 / V_1)^k \quad \text{ва} \quad V_1 / V_2 = (P_2 / P_1)^{1/k}$$

Жисмни кўрсаткичларини нисбатини жараёни чекка нуқталари ҳолат тенгламасига кўйиб $(P_2 / P_1)(V_2 / V_1) = (T_2 / T_1)$ тегишли ўзгартиришлар киритиб

$$T_1 / T_2 = (V_2 / V_1)^{K-1} = (P_1 / P_2)^{(K-1)/k}$$

ҳажмни ўзгаришидаги солиштирма иш

$$l = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad \text{адиабат тенламаси} \quad P = P_1 V_1^k / V^K \quad \text{орқали келтириб чиқариш}$$

мумкин

$$l = \frac{1}{K-1} \left(\frac{P_1 V_1^K}{V_1^{K-1}} - \frac{P_2 V_2^K}{V_2^{K-1}} \right) \quad \text{бунда}$$

$$l = \left[\frac{1}{K-1} \right] (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (7.14) \quad \text{бу ифодадан кўйидагини олиш мумкин.}$$

$$l = \left[\frac{P_1 V_1}{K-1} \right] (1 - T_2 / T_1); \quad l = \left[\frac{K_1}{K-1} \right] (T_2 - T_1)$$

Ҳароратларни нисбатини ҳажм ва босим нисбатлари билан алмаштирамиз.

$$l = [P_1 / V_1 (k - 1)] \left[1 - \left(P_2 / P_1^{\frac{k-1}{k}} \right) \right] = [RT_1 / (k - 1)] [1 - (V_1 / V_2)^{k-1}]$$

Қайтар адиабат жараён учун $dq=0$ шунинг учун $dS=dq/T=0$ ва $S_2=S_1=const$ (7.15).

Политропик жараён.

Тизим (газ)нинг солиштирма иссиқлик сиғими ($C=const$) ўзгармас бўлган термодинамик жараён политропик жараён дейилади. Политроп гречка *Poli*-кўп ва *trops*-йўл сўзларидан олиган бўлиб, турли туман бурилиш, кўп бўрилиш деган маънони билдиради.

Тизимнинг солиштирма иссиқлик сиғими ўзгармасада, унинг ҳолат кўрсаткичлари ўзгаради.

Политроп жараён тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$PV^n = const \quad (7.16)$$

бу ерда $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$ - политроп кўрсаткичи; C -политроп жараёнда

қатнашаётган тизимнинг солиштирма иссиқлик сиғими; C_p ва C_v - жараёнда қатнашаётган тизимининг (газ) ўзгармас босими ва ҳажмдаги солиштирма иссиқлик сиғимлари.

Политроп кўрсаткичлари $-\infty$ дан $+\infty$ гача бўлган қийматларни ўз ичига олади.

Политроп жараёнинг иссиқлик сиғими $C=const$ бўлгандаги ҳолати учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидагича ёзилади:

$$dq = CdT = C_v dT + PdV \quad \text{ёки} \\ (C - C_v)dT = pdV$$

Политроп кўрсаткичи қийматини $-\infty$ дан $+\infty$ гача ораликда ўзгартириб изохорик, изобарик, изотермик ва адиабатик жараёнлар тенгламаларини ҳосил қилиш мумкин.

Термодинимик тизим сифатида идеал газ қабул қилинса, политроп жараёнида бажарилган иш тенгламасининг босим ва ҳажм билан боғланган ифодасини идеал газнинг тенгламасидан фойдаланиб, қуйидаги кўринишга келтириш мумкин:

$$l = \frac{1}{n-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (7.17)$$

Политроп жараёни амалга ошириши учун керак бўлган иссиқлик миқдори

$$q = C(T_2 - T_1) \quad (7.18)$$

Бу ерда C -политроп жараёни иссиқлик сиғими.

Политроп жараён энтропиясининг ўзгарши қуйидагига тенг

$$S_2 - S_1 = C_v (n - k) \ln \frac{V_1}{V_2} \quad \text{ёки} \quad S_2 - S_1 = \frac{C_v}{n} (n - k) \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (7.19)$$

$$S_2 - S_1 = C_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (7.20).$$

7-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Термодинамик жараёнларнинг таърифи.
2. PV -диаграммада жараёнларнинг тасвирланиши.
3. Жараёнларнинг тенгламалари.
4. Ҳар бир жараён учун газнинг ҳажмини ўзгариш ишини ифодаси.
5. Қандай жараён политропли жараён дейилади?
6. Қандай политроп жараёнларда ички энергия ортади, қандайларида камаёди?
7. Нима учун жисмни адиабитли кенгайишида ҳарорат камаёди ва сиқишда ортади?
8. Асосий жараёнлар учун политроп кўрсаткичини миқдори нимага тенг?

Адабиётлар.

1. 63...75 бетлар.
2. 20...26 бетлар.
3. 79...94 бетлар.
4. 185...206 бетлар.
5. 26...45 бетлар.
6. 54...79 бетлар.

8-мавзу, 6-маъруза, 2-соат.

Газ ва буғларнинг оқими.

Кўриладиган масалалар.

1. Оқимнинг тенгламаси.
2. Оқимнинг тезлиги ва эга бўлган иш.
3. Оқишдаги секундлик сарфи.
4. Оқимнинг критик тезлигини товушнинг тарқалишини жойлардаги тезлти билан боғлиқлиги.
5. Босимнинг критик нисбати.
6. Критик режимдаги оқимнинг тезлигини ва секундлик массали сарфини аниқлаш.
7. Критик тезлик орқали ўтиш шароити.
8. Лавал соплоси.
9. Сув буғининг оқимини жараёнини is диаграмма орқали ҳисоблаш.
10. Газларнинг ва буғларни дросселлаш.

Таянч сўз ва иборалар.

Оқим тезлиги; массали сарф; критик босим; дросселлаш; сопло; диффузор; is диаграмма.

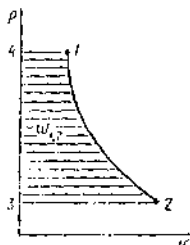
Газ ва буғларнинг оқими.

Газнинг ва буғнинг оқими шунчалик тез кечадики уларнинг насадка (оғзи кенг учлик)да оқиб ўтиш вақтида ташқи муҳит билан иссиқлик алмашиш деярли содир бўлмайди ва ҳисоблашларда уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Шунинг учун газ ва буғнинг оқимини иссиқлик берилмасдан ва олинмасдан адиабатик жараён бўйича кечади деб қаралади.

Газ ёки буғни насадкадан силжшида уни босими аста секин камайиши, тезлигиси эса ошиши ёки тезлиги камайиши ва босими ошиши мумкин

бўладиган даражада оқим жараёнини ташкил қилинг мумкин. Биринчп ҳолатда, яъни босимни камайиши билан тезликни ошриладиган насадка сопло деб аталади. Иккинчи ҳолда босимни ошиши билан тезликни камайтирадиган насадка диффузор деб аталади.

Газ ва буғни оқим жараёнини тораядиган соплодан ўтишини кўрамиз. Оқимнинг адиабат жараёни $P-V$ диаграммада 1-2 чпзиқ билан тасвирланган (8.1-расм). Бу тасвирда босимнинг ўзгаришидаги солиштирма иш $W_{1,2}$ штрихланган 1234 юза билан кўрсатилган.



8.1-расм.

Солиштирма ишни аналитик усулда қуйидаги ифода орқали аниқлаш мумкин.

$$W_{1,2} = kl_{1,2}, \quad (8.1)$$

бу ерда $l_{1,2}$ -адиабат жараёнда ҳажмни ўзгаришидаги иши:

Адиабат жараён учун ҳажмни ўзгаришидаги иши қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$l_{1,2} = P_1 V_1 \left[1 - (P_2 / P_1)^{(K-1)/K} \right] / (K-1)$$

Ҳажмни ўзгаришидаги ишини (1) тенгламага қўйиб қуйидагини оламиз.

$$W_{1,2} = [\kappa / (\kappa - 1)] P_1 V_1 \left[1 - (P_2 / P_1)^{(K-1)/K} \right] \quad (a)$$

бу ерда κ адиабат кўрсаткичи; P_1 ва P_2 -соплови кириш ва чиқиш кесимларидаги босим, Па; V_1 -газни ёки буғни соплога киришдаги солиштирма ҳажми, м³/кг.

(а) тенглама оқимнинг солиштирма иши учун келтирилган. Исталган массали газни ёки буғни оқими ишини ҳисоблаш учун тенгламани икки томонини m массага кўпайтириш керак.

Соплода газни ёки буғни оқишида босимни ўзгариш иши $W_{1,2}$ фақат оқимининг кинетик энергиясига айланади деб қаралади, шунинг учун иш ошади.

$$W_{1,2} = C_2^2 / 2 - C_1^2 / 2 \quad (б)$$

бу ерда C_1 , ва C_2 мос ҳолда соплови кириш ва чиқиш кесимида оқимнинг тезлиги, м/с.

(б) тенгламани C_2 га нисбатан ечиб, қуйидагини оламиз.

$$C_2 = \sqrt{C_1^2 + 2W_{1,2}}.$$

Кўп ҳолларда газларнинг ва буғларнинг оқим тезлиги C_1 , C_2 тезликка қараганда жуда кичик миқдорга эга, шунинг учун уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, яъни $C_1=0$ деб қабул қилинади.

$$C_2 = \sqrt{2W_{1,2}} \quad (8.2)$$

$W_{1,2}$ ни (а) тенгламадаги қиймати билан алмаштириб қуйидагини оламиз

$$C_2 = \sqrt{2[k/(\kappa-1)]P_1V_1[1-(P_2/P_1)^{(K-1)/K}]} \quad (8.3)$$

Соплонинг чиқиш кесимидан оқиб ўтаётган газни ёки буғни массасини вақтига бўлган нисбати-массали сарфини аниқлаймиз. Бунинг учун $\rho = m/V$ тенгламасидан фойдаланамиз.

$$m_1 = \rho_2 V_1$$

бу ерда m_1 , -газни ёки буғни массали сарфи, кг/с;

ρ -газни ёки буғни кириш кесимидаги зичлиги, кг/м³;

V_1 -газни ёки буғни ҳажмий сарфи м³/с.

Газни ёки буғни ҳажми сарфи қуйидагича аниқланади

$$V_1 = f_2 C_2$$

бу ерда f_2 чиқиш кесимини юзаси, м².

Ҳажмий сарфни ўрнига қўйсақ қуйидагини оламиз

$$m_1 = \rho_2 f_2 \sqrt{2[k(\kappa-1)]P_1V_1[1-(P_2/P_1)^{(K-1)/K}]} \quad (8.4)$$

Бу тенгламага $\rho_2 = 1/V_2$, адиабат жараён учун $V_2 = V_1(P_1/P_2)^{1/K}$, шунинг учун $\rho_2 = (1/V_1)(P_2/P_1)^{1/K}$ ни ўрнига қўйсақ

$$m_1 = f_2 \sqrt{2[k(\kappa-1)](P_1/V_1)(P_2/P_1)^{2/K}[1-(P_2/P_1)^{(K-1)/K}]} \quad (8.5) \text{ ни оламиз ёки}$$

$$m_1 = f_2 \sqrt{2[k(\kappa-1)]P_1/V_1[(P_2/P_1)^{2/K} - (P_2/P_1)^{(K-1)/K}]} \quad (8.6)$$

Оқимнинг критик тезлиги ва газни ёки буғни энг кўп массали сарфи.

(8.3) ифодадан кўриниб турибтики, P_2/P_1 нисбатни камайиши билан газни ёки буғни оқим тезлиги ошади.

Тажрибаларнинг натижаларига кўра, ўзгармас қисимли ёки торайадиган қисимли соплодан оқим ўтса, ab чиқиш кесимида P_2 босим маълум миқдоргача пасайиши мумкии, бу қийматни критик босим P_{KP} , деб аталади. P_{KP}/P_1 нисбатни босимни критик нисбати деб аталади ва β билан белгиланади.

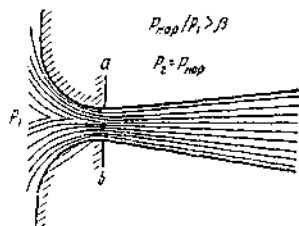
$$\beta = P_{KP}/P_1 = 2[2/(\kappa+1)]^{K/(K-1)} \quad (8.7)$$

Оқимдаги босимни критик нисбати фақат адиабат кўрсаткичига боғлиқ бўлади.

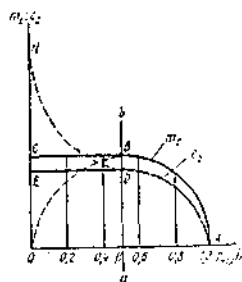
(8.7) тенгламадан P_{KP} босимни аниқлайдиган тенгламани оламиз.

$$P_{KP} = \beta P_1 \quad (8.8)$$

P_1 ни ўзгармас ҳолида атроф муҳит босими $P_{нар}$ ни камайтирилса сопло торайган ab кесимида газни босими P_2 билан атроф муҳитни босими $P_{нар} \geq P_{кр}$ бўлгунча тенглашади. Атроф муҳит босимини критик боемдан кам бўлган босимгача камайтирилганда оқаётган газни босими P_2 ўзгармас бўлиб қолиб критик босимга тенг бўлади (8.2-расм).



8.2-расм.



8.3-расм.

Бу ҳодисани қўмидаги мисол билан тушунтириш мумкин. Босими $P_1 = 1 \text{ МПа}$ бўлган баллондан (босим ўзгармас) торайадиган насадкада хаво оқиб чиқади. Бунда критик босим $P_{кр} = \beta P_1 = 0,528 \times 1 = 0,528 \text{ МПа}$.

Агарда атроф муҳит босими $P_{нар} 0,528 \text{ МПа}$ дан юқори бўлса (лекин 1 МПа дан паст) масалан $0,8 \text{ МПа}$, бу ҳолда ҳавонинг насадканинг охиридаги босими P_2 ҳам $0,8 \text{ МПа}$ га тенг бўлади.

Агарда атроф муҳитни босими $P_{нар}$ ни $0,4 \text{ МПа}$ гача камайтирсак, унда $P_{нар}/P_1 = 0,4/1 = 0,4$ нисбати босимни критик миқдордан кам бўлади ва насадкани учидаги босим P_2 фақат $0,528$ гача пасаяди. Атроф муҳитни босими критик босимгача камайса оқимни тезлиги ва оқаётган газнинг массали сарфи босимларнинг $P_{нар}/P_1$ нисбати критик миқдорига етгунча ошади. Атроф муҳитнинг босимини кейинчалик камайтишида (P_1 ўзгармас бўлганда) газ оқимнинг тезлиги ва массали сарфи ўзгармайди (ошмайди).

Торайган соплодан газни оқим тезлигини ва массали сарфини босимлар нисбати $P_{нар}/P_1$ га боғлиқ равишда ўзгариши 8.3-расмда тасвирланган.

$P_{нар}/P_1 = \beta$ мос келган нуқтадан абсиссага тик туширилган ab чизик диаграммани юзасини икки қисмга бўлади. Диаграммани ўнг қисми ($P_{нар}/P_1 \geq \beta$ бўлганда)да оқимнинг тезлик чизиги C_2 (AD эгри чизик) ва массали сарфи m , (AB эгри чизик) (8.3) ва (8.6) ифодалар бўйича чизилгани тажриба натижаларига мос келади. Диаграмманинг чап қисмида ($P_{нар}/P_1 < \beta$ бўлганда) бу ифода мос келмайди. (8.6) ифодага асосан диаграммани чап қисмида $P_{нар}/P_1$ ни нисбатини камайтиши билан m_1 ҳам камаяди ва $P_{нар}/P_1 = 0$ бўлганда нўлга тенг бўлади (OB эгри чизик). Ҳақиқатда эса газни массали сарфи $P_{нар}/P_1 = \beta$ бўлган B нуқтада энг юқори қийматига эришади ва $P_{нар}/P_1$ ни кейинчалик камайтишида массали сарфи ўзгармас бўлиб қолади.

(8.3) ифодага асосан оқимни тезлиги C_2 ни B нуқтадан кейин ҳам ўсиши давом этади (DN эгри чизик), ҳақиқатда эса D нуқтада унинг қиймати энг юқори миқдорга эришади ва $P_{нар}/P_1$ нисбатни кейинчалик камайтишида ўзгармас бўлиб қолади. Бу тезлик критик тезлик $C_{кр}$ деб аталади.

Критик тезликни келтириб чиқариш учун (8.3) ифодадан фойдаланамиз.

$$C_2 = \sqrt{2\kappa/(\kappa-1)P_1V_1[1-(P_2/P_1)^{(K-1)/K}]}$$

P_2/P_1 нисбатни босимни критик нисбати $\beta = [2/(\kappa-1)]^{K/(K-1)}$ билан алмаштириб, қуйидагини оламиз

$$C_{кр} = \sqrt{2(\kappa/(\kappa-1))P_1V_1\{1 - [2/(\kappa+1)]^{(K/K-1)[(K-1)/K]}\}} = \\ = \sqrt{2[\kappa/(\kappa-1)]P_1V_1^{(K-1)/(K+1)}} = \sqrt{2[\kappa/(\kappa+1)]P_1V_1};$$

$\sqrt{2[\kappa/(\kappa+1)]} = a$ деб белгиласак; унда ифодани кўриниши кўйидагича бўлади.

$$C_{кр} = a\sqrt{P_1V_1} \quad (8.9)$$

бу ерда a -фақат адиабат кўрсаткичига боғлиқ бўлган коэффициент.

(8.5) ифода орқали газни энг юқори массали сарфи аниқланади.

$$m_l = f_2 \sqrt{2[\kappa(\kappa-1)](P_1/V_1)(P_2/P_1)^{2/K} [1 - (P_2/P_1)^{2/K} - (P_2/P_1)^{(K-1)/K}]}$$

$P_2/P_1 = \beta$ бўлганда газни сарфи энг юқори қийматга эришади, шунинг учун бу тенгламадаги P_2/P_1 нисбатни босимларни критик нисбати β га тенг бўлган $[2/(\kappa-1)]^{K/(K-1)}$ билан алмаштириб қуйидагига эга бўламиз.

$$m_{l,\max} = f_2 \sqrt{2[\kappa(\kappa-1)](P_1/V_1)[2/(\kappa+1)]^{2/(K-1)}[(\kappa-1)/(\kappa+1)]}$$

илдиз остидагини $(\kappa-1)$ га бўлиб ва соддалаштириб қуйидагини оламиз.

$$m_{l,\max} = f_2 \sqrt{\kappa[2/\kappa(\kappa+1)][2/\kappa(\kappa+1)]^{2/(K-1)}P_1/V_1} = f_2 \sqrt{\kappa[2/\kappa(\kappa+1)]^{(K+1)/(K-1)}P_1/V_1}$$

$$\sqrt{\kappa[2/(\kappa+1)]^{(K+1)/(K-1)}} = \psi \quad \text{билан белгиласак}$$

$$m_{l,\max} = \psi f_2 \sqrt{P_1/V_1} \quad \text{бўлади} \quad (8.10)$$

бу ерда ψ - фақат адиабат кўрсаткичига боғлиқ бўлган коэффициент.

Идеал газнинг оқмининг тезлиги C_2 ва критик тезлиги $C_{кр}$ (8.3) ва (8.9) ифодалар орқали $\sqrt{P_1/V_1}$ ни $\sqrt{RT_1}$ га алмаштириш билан аниқлаш мумкин, массали m_l ва энг юқори массали сарфлари (8.6) ва (8.10) ифодалардаги $\sqrt{P_1/V_1}$ ни $P_1\sqrt{RT_1}$ га алмаштириш орқали аниқлаш мумкин.

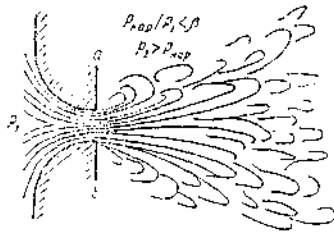
Газнинг кўрсаткичлари $P_{кр}$ ва $C_{кр}$ бўлганда унинг соплодан оқиб чиқаётган критик тезлиги товуш тўлқинининг тарқалиш тезлигига тенг бўлади.

Газни торайган соплодан оқими жараёнини кўриш натижасида қуйидаги хулосага келиш мумкин: бундай соплодан оқиб ўтаётган газнинг тезлигини ва массали сарфини аниқлаш учун оқимнинг икки режимини фарқ қилиш керак:

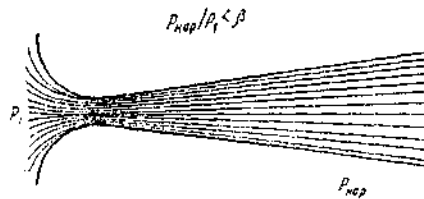
1) $P_{нар}/P_1 \geq \beta$ бўлганда критикгача бўлган режим, бунда газ тўлиқ кенгаяди. Шунинг учун торайадиган соплодан чиқаётган газнинг ёки буғнинг босими ташқи муҳитнинг босимига тенг бўлади.

2) $P_{нар}/P_1 < \beta$ бўлгандаги критик режим, бунда газ тўлиқ кенгаймайди ва уни босими соплодан чиқишда ташқи муҳит босимига тенг бўлмайди; критик босимга тенг бўлиб қолади.

Оқимнинг критик режимида босимни ва тезликни критик миқдори соплонинг энг кичик чиқиш кесимида (ўрнатилади) пайдо бўлади. Соплодан газни чиқишида уни кенгайиши давом этиб, ташқи муҳит босимигача камаяди, қўшимча кенгайишини ҳамма иши кенгайишдаги уюрмани пайдо бўлишига сарф бўлади. (8.4-расм.)



8.4-расм



8.5-расм.

Тораётган соплога кенгаёган қисмни кўшсак критик режимдан кейинги режимни олиш мумкин (8.5-расм). Бу ҳолатда соплонинг энг кичик кесимидаги босим критик босимга тенг бўлади, чиқиш кесимида эса керакли микдорга эга бўлган кесим олинса муҳит босимиغا эришиш мумкин. Бундай насадкани швед инженери Лавал таклиф этган ва Лавалнинг соплоси деб аталади.

$0 < P_{нар} / P_1 < \beta$ бўлгандаги исталган берилган босимлар нисбатида Лавалнинг тўғри ҳисобланган соплоси ташқи босим микдорига газни ёки буғни кенгайтишига ва оқимни тезлигини критик тезликдан ошишига, яъни товуш тезлигидан юқори тезланишни олишга имкон беради. Газни бу ҳолда массали сарфи, энг кичик кесим юзаси f_{min} билан аниқланадигани, энг юқори массали сарфига тенг бўлади.

Лавал соплоси орқали газни ва буғни оқиши.

Босимлар нисбати $P_{нар} / P_1 < \beta$ бўлиб, босимлар фарқи кўп бўлганда газни тўлиқ кенгайтиши учун Лавал соплоси қўлланилади.

Газни берилган массали сарфида $m_{l,max}$ ва босимлар фарқи $P_{нар} / P_1 < \beta$ да соплони энг кичик диаметри d_{min} ни, чиқиш кесимини диаметри $d_{вых}$ ва кенгайтиш қисмини узунлиги l аниқланади (8.6-расм). Соплонинг энг кичик кесимида оқимни критик тезлиги ва энг кўп массали сарфи бўлиши керак, шунинг, учун (8.10) ифодадан фойдаланиб соплонинг энг кичик кесимини аниқлаш мумкин.

$$f_{min} = m_{l,max} / (\psi \sqrt{P_1 / V_1}) \quad (8.11)$$

Соплонинг чиқиш кесими $f_{вых}$ ни (8.6) ифода орқали аниқлаш мумкин.

$$f_{min} = m_{l,max} / \sqrt{2[\kappa/(\kappa-1)]P_1/V_1[P_2/P_1^{2/\kappa} - (P_2/P_1)^{(K+1)/K}]} \quad (8.12)$$

бу ерда P_1 - газни соплога киришдаги босими, P_a ; P_2 - соплодан чиқаётган газни босими, P_a .

Соплони кенгайдиган қисмини узунлиги 8.6-расмдаи аниқлаш мумкин (аст учбурчакдан).

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\alpha/2) &= mc / ac; \quad mc = (d_{вых} - d_{min}) / 2; \quad ac = l; \\ \operatorname{tg}(\alpha/2) &= (d_{вых} - d_{min}) / (2l) \quad \text{бундан} \\ l &= (d_{вых} - d_{min}) / (2\operatorname{tg} \alpha/2) \end{aligned} \quad (8.13)$$

α бурчак $10...12^\circ$ оралиғида қабул қилинади. α бурчакнинг катта қийматларида газни оқимини соплонинг деворидаи ажраб қолиши ва уюрма ҳосил бўлиши содир бўлади. Бурчакнинг кичик қийматларида соплонинг кенгайтиш қисмини узунлиги кўп бўлади, бу газ билан сопло девори орасидаги ишқаланишдаги йўқотишларни оширади ва газни оқим тезлигини камайтиради.

IS диаграмма бўйича газ са буғларнинг оқимини ҳисоблаш.

Газ, буғнинг оқиш жараёнини ҳисоблашда is диаграммадан фойдаланиш ҳисоблашни осонлаштиради ва тезлаштиради.

1. Тораётган соплодан оқиб ўтишни ҳисоблаш услуби қуйидагича бўлади. Газ ва буғларнинг оқимини критик режимигача бўлганини, берилган бошланғич кўрсаткичлари P_1 ва t_1 ёки P_1 ва X_1 бўйича is диаграммасидан нуқта 1 ни топилади (8.7-расм). Бу нуқтадан ордината ўқига параллел бўлган чизик туширилади то ташқи муҳит босимигача ва 2 нуқта олинади. 1-2 кесим адиабатли иссиқлик фарқи h_l ни белгилайди. h_l ни миқдорини бўлиб оқимнинг солиштира иши $W_{1,2}$ ни, C_2 ёки $C_{кр}$ оқим тезлигини ва m_l ёки m_{lmax} массали сарфини аниқлаш мумкин.

Бунинг учун термодинамиканинг биринчи қонуни тенгламасидан фойдаланамиз.

$$q_{1,2} = i_2 - i_1 + W_{1,2}$$

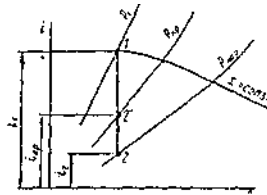
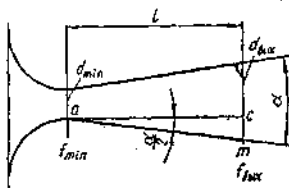
Адиабат жараёнда $q_{1,2} = 0$, шунинг учун

$$W_{1,2} = (i_1 - i_2) \quad \text{ад} \quad (8.14)$$

(1) тенгламага асосан $C_2 = \sqrt{2W_{1,2}}$

$$C_2 = \sqrt{2h_l} \quad (8.15)$$

бу ерда $h_l = (i_1 - i_2)$ ад.



8.6-расм.

(8.4) тенглама газни ёки буғни массали сарфини аниқлашга имкон беради.

$$m_l = \rho_2 f_2 C_2 \quad (8.16)$$

ёки

$$m_l = \rho_2 f_2 \sqrt{2h_l} \quad (8.16a)$$

Агарда босимлар нисбати $P_{нар} / P_1 < \beta$ бўлса тораётган соплодан оқим режими критик бўлади. Бу ҳолатда i_2 ни ўрнига $i_{2кр}$ ни қўйиб (8.14), (8.15) ва (8.16) ифодалардан фойдаланиш мумкин. Солиштира энthalпия $i_{кр}$ ни критик миқдори адиабатни бошланғич нуқтадан ўтказилган $P_2 = P_{кр} = \beta P_1$ изобар билан кесишган нуқтаси учун is диаграммасидан топилади (2' нуқта 8.7-расм).

Ливал соплодан оқадиган газ ва буғларни i_1 ва i_2 миқдорлари 8,7-расимда кўрсатилгандек is диаграммасидан аниқланади. Массали сарфи энг кичик юзаси бўйича аниқланади. Бу кесимда жойлардаги товуш тезлигига тенг бўлган критик тезлик бўлади. Газни ёки буғни энг кўп массали сарфи қўйидаги ифода орқалии аниқланади.

$$m_{lmax} = f_{min} C_{кр} / V_{кр} \quad (8.17)$$

Критик босимдаги ($P_{кр}$) буғни солиштира ҳажми критик босим $P_{кр} = \beta P_1$

га мос келган нуқга учун i с диаграммасидан аниқланади.

Чиқиш $f_{\text{вых}}$ кесими қуйидаги ифода орқали ҳисоблаб топилади.

$$f_{\text{вых}} = m_{i \max} V_2 / C_2 \quad (8.18)$$

бу ерда C_2 -(14) тенглама орқали аниқланадиган соплонинг чиқиш кесимидаги буғни ўта товуш тезлиги.

Юқорида келтирилган тенгламаларнинг ҳаммаси оқим жараёнини қайтар деб қабул қилинганда назарий ҳолатдаги оқим тезликлари учун. Оқимнинг ҳақиқий жараёнида ишқаланиш содир бўлади, бу эса жараённи қайтмас бўлишига олиб келади. Шунинг учун оқимнинг ҳақиқий тезлиги C_2 ҳар доим назарий оқим тезлигидан кам бўлади; бундай тезлик қуйидаги ифода орқали аниқланади.

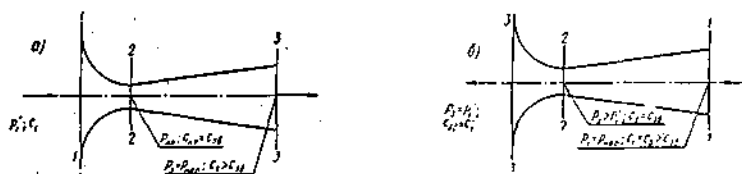
$$C'_2 = \psi C_2$$

бу ерда $\psi = 0,9 \dots 0,95$ - соплонинг тезлик коэффиценти. Диффузор орқали оқиш.

Диффузордан газ оқганда унинг тезлиги камаяди ва босими ошади.

Лавал соплосидан газ оқаётган бўлса, 1-1 кесимга P_1 босимда ва C_1 тезликда келсин. Соплонинг энг кечик кесими 2-2 да критик босим ва жойлардаги товуш тезлигига тенг бўлган критик тезлик $C_{кр}$ бўлади. Чиқиш кесими 3-3 да босими ташқи муҳит босимига тенг бўлган P_3 босим ва ўта товуш тезлиги ҳосил бўлади (8.8а-расм).

Газ ва буғ Лавал соплосидан тескари йўналиш бўйича оқса 1-1 кесимида босим $P_i = P_{нар}$, тезлиги эса $C_1 < C_{кр}$ бўлади. Диффузорнинг энг кичик кесимида (2-2) босим P_2 гача кўтарилади, тезлиги эса товуш тезлигига камаяди $C_2 = C_{кр}$ 3-3 чиқиш кесимида газнинг босими $P_3 = P'_1$ гача ошади, тезлиги эса $C_3 = C_1$ гача камаяди. Шундай қилиб 1-1 кесимдан 2-2 кесимгача тезлик товуш тезлигидан юқори бўлади, 2-3 қисмида товуш тезлигидаи кам бўлади. Шунинг учун лойиҳаланаётган диффузорнинг киришдаги ва чиқишдаги тезлик товуш тезлигидан юқори бўлса диффузор тораядиган бўлиши керак, агарда киришдаги ва чиқишдаги тезлик товуш тезлигидан кам бўлса диффузор кенгаядиган бўлиши керак, агарда киришдаги тезлик товуш тезлигидаи юқори бўлса, чиқишдаги тезлик кам бўлса, диффузор олдин тораядиган ва кейин кенгаядиган бўлиши керак.



8.8-расм.

Агарда диффузордаги жараённи қайтар жараён деб қаралса, тезликни ва газни сарфини аниқлаш учун сопло орқали оқиш жараёнида қўлланиладиган ифодалардан фойдаланилади. Диффузордан чиқишдаги тезлик кўп бўлса уни ҳисобга олмаслик мумкин эмас, бу ҳолда адиабатли оқимнинг солиштирма иши қуйидагига тенг бўлади.

$$W_{1,2} = C_1^2 / 2 - C_3^2 / 2 = [\kappa / (\kappa - 1)] P_1 V_1 [(P_3 / P_1)^{(K-1)/K} - 1]$$

Бу ифодадан фойдаланиб бир тезликдан иккинчи тезликни аниқлаш мумкин.

$$C_3 = \sqrt{C_1^2 - 2[\kappa(\kappa - 1)]P_1V_1[(P_3/P_1)^{(\kappa-1)/\kappa} - 1]}$$

Бунга мос ҳолда диффузорни кириш ва чиқиш кесими қўйидаги ифода орқали аниқланади.

$$f_1 = m_1V_1/C_1; \quad f_3 = m_1V_3/C_3$$

Газ ва буғларни дросселлаш.

Агарда қувурда кескин тораядиган қисми бўлса (вентил, жўмрак ва ҳ.к.) бундай торайган қисмидан газни ёки буғни ўтишида унинг босими камаяди ва солиштирма ҳажми ортади. Газни ёки буғни бундай қайтмас жараёндаги кенгайиш дросселлаш деб аталади.

8.9-расмда қувурга ўрнатилган диафрагма F даги тор тешик орқали ишчи жисмни (газ ёки буғ) ўтиш ҳолати тасвирланган. Диафрагмагача бўлган P_1 босим диафрагмадан кейин P_2 га тенг бўлиб қолади ($P_1 > P_2$). Бу иккала босим қувурнинг кўндаланг кесимини ҳамма жойида бир хил босим бўлган диафрагмадан a ва b масофада ўлчаниши керак.

Дросселлаш жараёнига хос бўлган икки белгисини кўрсатиш мумкин:

1. Дросселлаш ишчи жисм билан ташқи муҳит орасида иссиқлик алмашиш жуда кам бўлган ва уни ҳисоблашларда эътиборга олинмайдиган жуда тез кечадиган жараён.

2. Ташқи иш бажармай кечадиган дросселлаш жараёни.

Термодинамиканинг биринчи қонуни тенгламасини ёзамиз.

$$q_{1,2} = i_2 - i_1 + W_{1,2}$$

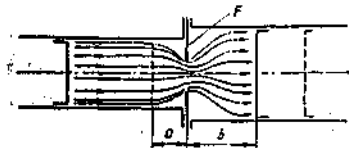
Дросселлаш жараёнининг икки белгисига асосан $q_{1,2} = 0$ ва $W_{1,2} = 0$.

Демак, $i_2 - i_1 = 0$ ёки $i_2 = i_1$ (8.19)

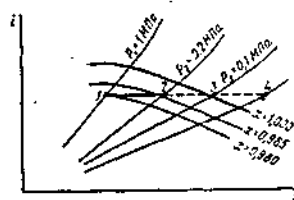
Дросселлашда буғни ёки газни солиштирма энталпияси ўзгармайди. Шунинг учун бундай жараён изоэнталпийли деб аталади ва i s диаграммада тўғри чизик билан тасвирланади.

Дросселлашни айрим хусусий холини кўриб чиқамиз. Босими $P_1 = 1 \text{ МПа}$ ва қуруқлик даражаси $x_1 = 0,98$ бўлган нам буғ $P_2 = 0,2 \text{ МПа}$ гача дросселланган. Буғни бошланғич ҳолати бўлган (1 нукта 8.10-расм) нуктасини i s диаграммадан топиб, у нуктадан абсцисса ўқига параллел бўлган чизикни $P_2 = 0,2 \text{ МПа}$ изобара билан кесишгунча давом эттирамиз ва жараёни охириги 2 нуктасини оламиз. Диаграммадан кўринишича буғни қуруқлик даражаси ошиб 0,985 га тенг бўлиб қолади. Шундай қилиб дросселлаш натижасида буғ қурий бошлайди. Буғни дросселлаш натижасида босимини кўп миқдорга камайтириб, масалан $0,1 \text{ МПа}$ гача, ҳам буғни қуруқ буғга (3 нукта). ёки қизиган буғга (4-нукта) айлантириш мумкин. Дросселлашда буғни ҳарорати пасаяди. (8.10-расм).

Идеал газни солиштирма энталпияси фақат ҳароратга боғлиқ, дросселлашда солиштирма энталпия ўзгармайди, уни ҳарорати ҳам ўзгармайди. Шунинг учун идеал газни изоэнталпийли жараёни бир вақтни ўзида изотермикли бўлади.



8.9-расм.



8.10-расм.

8-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Оқим учун термодинамикани биринчи қонуни.
2. Қандай каналлар сопло ва диффузор деб аталади?
3. Адиабатли жараёндаги суюқликнинг оқимини тезлиги.
4. Идеал газни секундлик сарфи.
5. Босимнинг критик нисбати.
6. Товуш тезлиги қандай аниқланади?
7. Лавални комбинирланган соплоси.
8. Сув буғининг оқими

Адабиётлар.

1. 105...137 бетлар.
2. 43...51 бетлар.
3. 180...213 бетлар.
4. 234...260 бетлар.
6. 171...189 бетлар.

9-мавзу, 7-маъруза, 2-соат.

Қўриладиган масалалар.

1. Поршенли ИЁДларнинг ишлаш принципи.
2. Иссиқлик ўзгармас ҳажмда ва ўзгармас босимда бериладиган ғикллар.
3. Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғикл.
4. Ғиклларнинг PV ва TS диаграммаларда тасвирлаш.
5. Ғиклларнинг термодинамик ф.и.к.
6. ИЁД термодинамик ғиклларининг қиёсий таҳлили

Таянч сўз ва иборалар.

Термодинамик ғикллар; сиқиш даражаси; босими ортиш даражаси; бериладиган иссиқлик; олинадиган иссиқлик; диаграммалар.

Ички ёнув двигателлари (ИЁД)нинг ғикллари.

Ички ёнув двигателлари иссиқлик двигателларини бошқа турларига қараганда иккита муҳим афзалликка эга. Биринчидан ички ёнув двигателларда (ИЁД) иссиқликнинг қизиган манбадан иш двигателнинг ўзининг ичида, бўлиши туфайли қизиган манбадан иш жисмига иссиқлик берилиши амалга ошириладиган катга иссиқлик алмашув сиртларига зарурат қолмайди. Шу сабабли ИЁД, масалан буғ-куч қурилмалариги нисбатан анча ихчам бўлади. ИЁДларнинг иккинчи афзаллиги қуйидагидан пборат. Иссиқлик ташқи қизиган манбадан бериладиган иссиқлик двигателларида иш жмсми ҳароратининг юқори чегараси ғиклда конструкторион ашёлар (материаллар) учун руҳсат

этилган ҳарорат киймати билан чекламади (масалчан буғ турбинаси қурилмаларида сув буғи ҳароратининг оширилиши буғ қозони ва турбинаси элементлари тайёрланадиган пўлат ҳоссалари билан чекланади маълумки, ҳарорат ортиши билан ашёнинг мустаҳкамлик чегараси камаяди). ИЁДларда эса жисмининг иссиқлик двигател деворлари орқали эмас, балки иш жисмининг ҳажмида ажраладиган иссиқлик ҳисобига оладиган узлуксиз ўзгарувчан ҳароратнинг чегаравий қиймати бу чегарадан анча юқори бўлиши мумкин. Бунда шу нарсани назарда тутиш керакки, цилиндр деворлари ва двигателнинг цилиндрлар блоки қаллаги мажбурий совутувчи тизимга эга бўлади, бу эса ғиклнинг термодинамиквий чегарасини кенгайтиришга ва шу билан унинг термик ф.и.к. ни оширишга имкон беради.

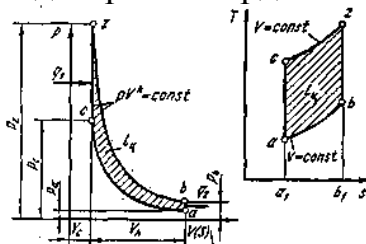
Поршенли ИЁДлари ғиклларининг учта асосий тури бўлади:

1. Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғикл, яъни ўзгармас ҳажмда ва ўзгармас босимда. Бў ғикл тез юрар дизеллар шу жумладан, автотрактор двигателлари ҳақиқий ғиклнинг тимсоли ҳисобланади.

2. Иссиқлик ўзгармас ҳажмда бериладиган ғикл. Бу ғикл бензинда ва газда ишлайдиган двигателларнинг идеал ғикли ҳисобланади.

3. Иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ғикл. Бу ғикл газ турбиналарининг идеал ғикли ҳисобланади.

9.1-расмда ИЁДнинг иссиқлик ўзгармас ҳажмда бериладиган термодинамик ғикли PV ва TS диаграммаларда тасвирланган.



9.1-расм. иссиқлик ўзгармас ҳажмда бериладиган ғикллар диаграммаси.

а-ғиклнинг PV диаграммаси; б-ғиклнинг TS диаграммаси.

ИЁД цилиндрига бериладиган ёнувчи аралашмада ёнилғи миқдори ҳаво миқдорига қараганда нисбатан кам бўлганлиги учун, таҳлил қилиш қулай бўлиши учун ғикл берк ғикл, ғиклнинг иш жисми ҳаво, миқдори двигателда ўзгармасдан қолади, иш жисмига иссиқлик q_1 нинг келтирилиши эса ташқи кизпгаи манбадан изохорик жараён $c-z$ да цилиндрнинг деворлари орқали бажарилади ва мос ҳолда иш жисмидан совуқ манбага иссиқлик q_2 олиниши изохорик жараён $b-a$ да амалга оширилади деб ҳисоблаш мумкин. Термодинамиквий таҳлил нуқтаи назаридан бундай берк ғикл очик отто ғиклидан фарқ қилмайди.

Бу ғиклда сиқиш ($a-c$) ва кенгайиш ($z-b$) жараёнлари жуда қисқа вақт ичида содир бўлиши туфайли, бу вақт ичида иш жисми атрофдаги муҳит билан сезиларли даражада иссиқлик алмашмайди ва шу сабабли бу жараёнларни яхши яқинлаштиш билан адиабатик жараён деб ҳисоблаш мумкин.

Шундай қилиб, отто ғиклига термодинамиквий эквивалент бўлган идеаллаштирилган берк ғикл иккита адиабата ($a-c$ сиқиш адиабатиси ва $z-b$

кенгайиш адиабатиси) ҳамда иккита изохора ($c-z$ иссиқлик берип изохораси ва $b-a$ иссиқлик олиш изохораси)дан иборат. Бир ғиклда двигател бажарадиган иш $c-z-b-a-c$ юза билан тасвирланади.

$c-z$ изохорик жараёнда иш жисмига бериладиган иссиқлик миқдори q_1 қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади.

$$q_1 = C_V(T_Z - T_C),$$

бу ерда T_C ва T_Z - иш жисмининг тенгишлича иссиқлик берилмасдан олдинги ва иссиқлик берилгандан кейинги ҳарорати;

C_V -иш жисмининг ўртача иссиқлик сифими.

$b-a$ изохорик жараёнда иш жисмидан олинаётган иссиқлик миқдори

$$q_2 = C_V(T_B - T_a) \text{ ни ташкил этади;}$$

Бу ерда T_B ва T_a иш жисмининг иссиқлик олинмасдан олдин ва иссиқ олингандан кейинги ҳарорати.

Иссиқлик ўзгармас ҳажмда бериладиган ва олинадиган жараённинг термик ф.и.к. қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\eta_l = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1};$$

$C_V = \text{const}$ бўлиши шарти билан бу тенгламани қуйидаги кўринишга келтириш мумкин.

$$\eta_l = 1 - \frac{\frac{T_b}{T_a} - 1}{\frac{T_z}{T_c} - 1};$$

Бў нисбатларни ҳажмлар билан белгилаб ва соддалаштириб қуйидаги тенгламага эга бўламиз.

$$\eta_l = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}};$$

бу ерда ε - сиғиш даражаси; κ - адиабатик жараённинг кўрсаткичи.

Иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ғикл
(изобарик ғикл).

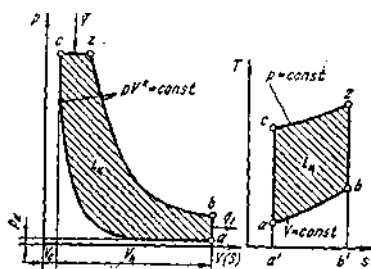
9.2-расмда иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ғиклнинг $P-V$ ва $T-S$ диаграммалари тасвирланган. Диаграммадан кўринишича (а-расм) ғикл иккита адиабата ($a-c$ сиқиш адиабатаси ва $c-z$ кенгайиш адиабатаси), қизиган манбадан иссиқ q_1 берилиши амалга ошириладиган $c-z$ изобар ва совуқ манбага иссиқлик q_2 олиниши амалга ошириладиган $b-a$ изохорадан иборат.

$P = \text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган ғиклнинг термик ф.и.к. қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\eta_l = 1 - \frac{1}{\kappa} \frac{\rho^K - 1}{\rho - 1} \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}; \quad (9.2)$$

бу ерда ρ -дастлабки кенгайиш даражаси.

Сиқип даражаси канчалик катта бўлса ва дастлабки кенгайиш даражаси кичик бўлса ғиклнинг ф.и.к. шунчалик юқори бўлиши келтирилган муносабатдан кўринаб турибди.



9.2-расм. Иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ғиклнинг $P-V$ ва $T-S$ диаграммалари.

Ғиклнинг $T-S$ диаграммада тасвирланиши 9.2,б-расмда кўрсатилган. Берилаётган q_1 иссиқлик $1-c-z-2-1$ юза билан, олинаётган q_2 иссиқлик $1-a-b-2-1$ юза билан, ғикл иши l_{η} эса $a-c-z-b-a$ юза билан тасвирланади.

$c-z$ изохорик жараёнда иш жисмига бериладиган иссиқлик q_1 қуйидага тенглама ёрдамида аниқланади.

$$q_1 = C_p(T_z - T_c)$$

Иссиқликнинг $V=const$ ва $P=const$ бериладиган ғикллар ф.и.к. ларнинг миқдорларини ғиклнинг энг юқори ҳарорати T_z бир хиллиги шарт билан тақослаш шуни кўрсатадики, бу ҳолда $P=const$ да иссиқлик бериладиган ғиклнинг термик ф.и.к. иссиқлик $V=const$ бериладиган ғиклнинг ф.и.к. га қараганда юқори бўлар экан, жумладан бу 9.2,б-расмдаги $T-S$ диаграммадан кўриниб турибти; $C_p > C_v$, яъни $T\left(\frac{ds}{dt}\right)_p > T\left(\frac{ds}{dt}\right)_v$ бўлиши туфайли, у ҳолда бинобарин, $T-S$ диаграммада изохора изобарага қараганда тикроқ кетади.

Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғикл.

Бу ғикл тезюрар дизеллар шу жумладан, автотрактор русумидаги дизелларни ҳақиқий ғиклининг тимсоли ҳисобланади. 9.3-расмда кўрсатилгандек, адиабатик сиқиш ($a-c$) дан сўнг иш жисмига аввал ўзгармас ҳажмда $q_1'(cz'$ жараён), кейин ўзгармас босимда $q''(z'z$ жараён) иссиқлик берилади. Шундан сўнг иш жисми адиабатик кенгайиб, иш бажаради (zb жараён). Ғикл ўзгармас ҳажмда q_2 иссиқлик олиш билан тугалланади (ba жараён).

Бу ғикл поршеннинг икки тўла йўлида бажарилади. Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғиклнинг таҳлил қилишда қуйидаги кўрсаткичлар киритилади:

- дастлабки кенгайиш даражаси $\rho = V_z / V_{z'} = V_z / V_c$
- кейинчалик кенгайиш даражаси $\delta = V_h / V_z$

Бу ифодалардан $\varepsilon = \rho\delta$

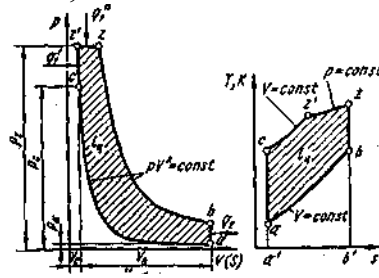
Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғиклининг термик ф.и.к. нинг аниқлаймиз.

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

бу ерда q_1 $c-z'$ изохора бўйича бериладиган иссиқлик q_1' ва $z'-z$ изобарик жараёнда бериладиган иссиқлик q'' йиғиндисидан иборат.

$$q_1 = q' + q''$$

бу ерда $q'_1 = C_V(T_Z - T_C)$; $q''_1 = C_P(T_Z - T_Z')$; буларни юқоридаги ифодадаги ўрнига қўйсак, қўйидагини оламиз;



9.3-расм. Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғикл $a=PV$ диаграммадаги тасвири, $b-TS$ диаграммадаги тасвири.

$$\eta_l = 1 - \frac{C_V(T_b - T_a)}{C_V(T_{Z'} - T_C) + C_P(T_Z - T_{Z'})};$$

бу тенгламани ташкил этувчиларининг қийматларини ўрнига қўйиб соддалаштирсак қўйидаги ифодани оламиз.

$$\eta_l = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K-1}} \frac{\lambda \rho^K - 1}{\lambda - 1 + \kappa \lambda (\rho - 1)}; \quad (17.3)$$

9-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Поршенли ИЁДларнинг ғикллари қандай турларга бўлинади?
2. Ўзгармас ҳажмда иссиқлик бериладиган ғиклни кечиши қандай бўлади?
3. Иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ғикл қандай кечади?
4. Иссиқлик аралаш усулда бериладиган ғикл қандай кечади?
5. Ғиклларнинг термик ф.и.к.
- 6 Ф.и.к. иссиқлик ўзгармас ҳажмда берилганда кўп бўладими ёки ўзгармас босимда?

Адабиётлар.

1. 144...159 бетлар.
2. 55...60 бетлар.
3. 235...252 бетлар.
4. 278...288 бетлар.
5. 89...105 бетлар.
6. 118... 126 бетлар.

10-мавзу, 8-маъруза, 2-соат.

Қўриладиган масалалар.

1. ГТҚнинг ишлаши.
2. Иссиқлик ўзгармас босимда бериладиган ГТҚ ғикли.
3. Иссиқлик ўзгармас ҳажмда бериладиган ГТҚ ғикли.
4. Ғиклларнинг таҳлили.
5. ГТҚнинг регенератив ғикли.
6. Ғиклларининг TV ва TS диаграммалардаги тасвири.
7. ГТҚларнинг термик ф.и.к. ошириш усуллари.

Таянч сўз ва иборалар.

ГТҚ қурилмалар; иссиқлик бериш; олинадиган ишлар; диаграммалари; термик ф.и.к.; регенераҗия.

Газ турбинали қурилмалар ғикли.

Поршенли ички ёнув двигателнинг асосий камчилиги унинг қувватини чекланганлиги ва ишчи жисмни атмосфера босимиғача адиабатли кенгайишига имкон йўқлиги. Бундай камчиликка газ турбинали қурилма эга эмас, бу ерда ишчи жисм сифатида суюқ ва газ симоин ёнилғиларнинг ёниш махсуллари ҳисобланади. Юқори босим ва ҳароратга эга бўлган ишчи жисм ёниш камерасидан соплога йўналтирилади, бу ерда ишчи жисм кенгайди ва катта тезлик билан газ турбинани куракларига келади ва уни кинетик энергияси механик иш олиш учун фойдаланилади.

Газ турбинали қурилмалар (ГТҚ) поршенли ички ёнув двигателларга қараганда бир мунча афзалликларга эга. Газ турбиналар нисбатан кам оғирликка эга, ўлчамлари кичик, илгариланма-қайтма ҳаракатланувчи деталлари йўқ, улар юқори айланиш частотаси ва катта бирлик қувват билан тайёрланиши мумкин.

Броқ катта қўзғалмас ГТҚларни яратганда бир қатор масалаларни ҳал қилиш керак. Қурилманинг ғиклини термик ф.и.к.ни ошириш учун газни

турбинага киришидаги бошланғич ҳароратини ошириш керак, энг юқори ҳароратда барқарор ва узок муддат ишлашини таъминлаш учун ўтга чидамли пўлатларни яратишни талаб қилади. Юқори ҳароратда ишлаётган газ турбиналарининг элементарини сувда ва газда совитиш етарлича ишончли эмас ва конструктив нуқтаи назаридан мураккаб.

Газ турбина қурилмасининг тежамкорлигига унинг тизимига кирувчи компрессорнинг самарадорли ф.и.к.ини ошириш катта аҳамиятга эга. Газ турбинасининг қувватини тахминан 75% компрессорни ҳаракатга келтириш учун сарфланади, шунинг учун ГТҚнинг умумий ф.и.к. компрессорнинг ишини такомиллашганлиги билан аниқланади.

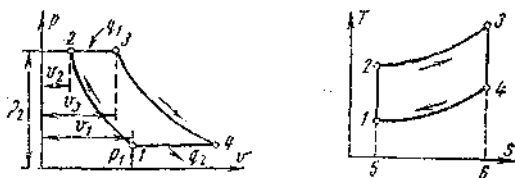
ГТҚ ёнилғининг ўзгармас босим ва ўзгармас ҳажмдаги ёнишида ишлаши мумкин. Унга мос келадиган идеал ғикли иссиқликни ўзгармас босимда ва ўзгармас ҳажмда бериладиган ғиклларга бўлинади.

Ўзгармас босимда иссиқлик бериладиган ГТҚ ғикли.

10.1-расм оддий ГТҚнинг ёнилғини ўзгармас босимда ёнадиган тизими берилган. Ёниш камераси 1га форсункалар 6 ва 7 орқали турбокомпрессор 4 дан ҳаво ва ёнилғи насоси 5 дан ёнилғи узлуксиз келиб туради. Ёниш камерасидан комбинирланган сопло 2га ёниш маҳсуллари йўналтирилади, у ерда ишчи жисм атмоофера босимига якин босимгача кенгаяди.

10.1-расм.

Ёнган маҳсуллар соплодан газ турбинанинг кураклари 3га келади, сўнгра чиқариш қузури орқали атмосферага чиқариб юборилади. 10.2 ва 10.3-расмларда ўзгармас босимда иссиқлик бериладиган газ турбинали қурилманинг идеал ғиклини PV ва TS диаграммалари тасвирланган.



10.2-расм 10.3-расм

Бундай ғиклда иссиқлик ишчи жисмдан ИЁДларга ўхшаб изохор бўйича эмас, балки изобар бўйича олинади. Поршенли двигателларда газни ҳажмини кенгайтириши цилиндрнинг ҳажми билан чекланган. Газ турбиналарида бундай чекланишлар йўқ ва газ атмосфера босимигача кенгайтириши мумкин.

Ишчи жисм ўзининг бошланғич кўрсаткичи P_1 , V_1 , T_1 билан 2 нуқтагача 1-2 адиабат бўйича сиқилади (10.2-расм). 2 нуқтадан ишчи жисмга 2-3 изобара бўйича q_1 миқдордаги иссиқлик берилади. Сўнгра ишчи жисм 3-4 адиабат бўйича ўзининг бошланғич босимигача кенгаяди ва q_2 миқдордаги иссиқлик олиниб 4-1 изобар бўйича бошланғич ҳолатига қайтади. Компрессордаги босимнинг ортиш даражаси $\beta = P_2 / P_1$ ва изобарли кенгайтиш даражаси $\rho = V_3 / V_2$ ғиклнинг кўрсаткичлари ҳисобланади. Берилаётган иссиқлик миқдори қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q_1 = C_p(T_3 - T_2)$$

Олинаётган иссиқлик эса қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q_2 = C_p(T_4 - T_1)$$

Ғиклнинг термик фойдали иш коэффициенти қуйидагига тенг бўлади,

$$\eta_l = 1 - q_2 / q_1 = 1 - C_p(T_4 - T_1) / C_p(T_3 - T_2) = 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

T_2 , T_3 ва T_4 ҳароратларни бошланғич ҳарорат T_1 билан ифодалаймиз 1-2 адиабат учун

$$T_2 / T_1 = (P_1 / P_2)^{(K-1)/K} = \beta_K^{(K-1)/K}; \quad T_2 = T_1 \beta_K^{(K-1)/K};$$

2-3 изобар учун

$$T_3 / T_2 = V_3 / V_2 = \rho; \quad T_3 = T_2 \rho; \quad T_3 = T_1 \beta_K^{(K-1)/K} \rho;$$

3-4 адиабат учун.

$$T_4 / T_3 = (P_4 / P_3)^{(K-1)/K} = (P_1 / P_2)^{(K-1)/K} = (P_1 / P_1 \beta_K)^{(K-1)/K} = 1 / \beta_K^{(K-1)/K};$$

$$T_4 = T_3 / \beta_K^{(K-1)/K} = T_3 / \beta_K^{(K-1)/K} \rho \frac{1}{\beta_K^{(K-1)/K}} = T_1 \rho$$

Олинган ҳароратларни термик ф.и.к. тенгламасига қўйиб қуйидагини оламиз.

$$\eta_l = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta_K^{(K-1)/K} \rho - T_1 \beta_K^{(K-1)/K}} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta_K^{(K-1)/K} (\rho - 1)}; \quad (10.1)$$

ёки

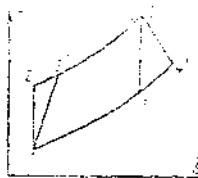
$$\eta_l = 1 - 1 / \beta_K^{(K-1)/K}$$

Иссиқлик ўзгармас босимда берилганда газ турбинали қурилманинг термик фойдали иш коэффициенти, босим ортиш даражаси β ва адиабат кўрсаткичи K га боғлиқ ва бу қийматларнинг ортиши билан у ҳам ортади.

Иссиқлик ўзгармас босимда берилганда газ турбинали қурилманинг термик ф.и.к.ини TS диаграммада қуйидаги юзаларнинг нисбатлари орқали аниқланади.

$$\eta_l = (5236 \text{ юза} - 514 \text{ юза}) / (5236 \text{ юза} - 1234 \text{ юза}) = 5236 \text{ юза}$$

Компрессордаги ишқаланишга сарфланган энергия, ишқаланишдаги иш иссиқликка айланганлиги учун ишчи жисмнинг ҳароратини оширади, бу ҳодиса ўз навбатида ҳавони сиқиш учун сарфланган ишни оширишга олиб келади (ташқи муҳитга йўқотилган иссиқлик ҳисобга олинмайди). Иссиқлик ўзгармас босимда берилгандаги газ турбинали қурилманинг назарий ғикли TS диаграммада 12341 юза ва реал ғикли-12'3'4'1 юза билан тасвирланади (10.4-рasm), бу ерда 1-2' чизиқ компрессордаги шартли қайтмас адиабатли сиқишни, 3-4' чизиғи эса турбинадаги шартли қайтмас адиабатли кенгайишни кўрсатади.



10.4-рasm.

Компрессордаги сиқишнинг назарий иши $l_{ao}^K = i_2 - i_1$ га, ҳақиқий иши

$$l_i^K = i_{2'} - i_1 \text{ га тенг ёки } l_i^K = l_{ao}^K / \eta_{ao}^K = (i_2 - i_1) / \eta_{ao}^K \quad (10.2)$$

бу ерда η_{ao}^K - турбокомпрессорнинг адиабатик ф.и.к., у қуйидаги нисбатга тенг $\eta_{ao}^K = (i_2 - i_1) / (i_{2'} - i_1)$

η_{ad}^K 0,80...0,85 гача чиқади. Турбинанинг оқим қисмидаги газнинг кенгайишида соплони девори ва кураклар билан ишқаланиш ва оқимнинг уюрмаланиш йўқотишлари кузатилади, бунинг натижасида ишчи жисмнинг кинетик энергиясини бир қисми иссиқликка айланади ва турбинадан газнинг чиқиб олдидаги i_4' энталпияси қайтар кенгайиш жараёнини i_4 энталпиясидан катта бўлади. Турбинадаги кенгайишнинг назарий иши $l_T = i_3 - i_4$ га ва кенгайишнинг ҳақиқий иши $l_i^T = i_3 - i_4'$ га тенг.

Реал турбинадаги кенгайишнинг ички ҳақиқий ишнинг идеал турбинанинг назарий ишига бўлган нисбати газ турбинанинг ички нисбий ф.и.к. деб аталади.

$$\eta_{турб} = l_i^T / l_T = (i_3 - i_4') / (i_3 - i_4), \quad (10.3)$$

Турбинанинг оқим қисми қанчалик яхши тайёрланган бўлса, газнинг ишқаланишдаги ва уюрмаланишдаги йўқотишлар шунчалик кам бўлади ва $\eta_{турб}$ юқори бўлади. Замонавий турбиналарда $\eta_{турб} = 0,8...0,9$ оралиғида бўлади.

Газ турбинали қурилмалардан олиниши мумкин бўлган ҳақиқий фойдали иш lg , кенгайишдаги ва сиқишдаги ҳақиқий ишларнинг айирмасига тенг.

$$lg = (i_3 - i_4)\eta_{турб}\eta_{мех} - (i_2 - i_1)/\eta_{ad}^K$$

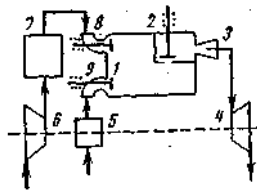
бу ерда $\eta_{мех}$ - механик ф.и.к.

ГТҚнинг фойдали ишини (lg) сарфланган иссиқлик миқдори q_{lg} га бўлган нисбати газ турбинали қурилманинг самарали ф.и.к. деб аталади.

$$\eta_e = \frac{lg}{q_{lg}} = \frac{(i_3 - i_4)\eta_{турб}\eta_{мех} - (i_2 - i_1)/\eta_{ad}^K}{i_3 - i_2'} \quad (10.4)$$

Ўзгармас ҳажмда ($V = const$) иссиқлик бериладиган ГТҚ ғикли.

Ёнилғи ўзгармас ҳажмда ёнадиган ГТҚнинг тизими 10.5-расмда келтирилган.



10.5-расм.

Турбокомпрессор 6 да сиқилган ҳаво катта ҳажмга эга бўлган идиш 7дан ҳаво клапани 8 орқали қурилманинг ёниш камераси 1га киради. Шу ёниш камерасига ёнилғи насоси 5 ёнилғи клапани 9 орқали ёнилғи ҳам берилади. Ёниш маҳсуллари сопл 3га клапан 2 орқали кириб унда кенгаяди ва газ турбина 4ни роторини айлантиради. Ёниш жараёнининг даврийлигини таъминлаш учун маълум ораликда бошқариладиган клапан 8 ва 9 лар орқали ҳаво ва ёнилғи киритиб турилади. Ёниш жараёни 2 ва 8 клапанлар ёпиқ ҳолида амалга оширилади. Ёнилғи ёнганидан сўнг камера 1да босим кўтарилади, соплонинг клапани 2 очилади ва ёниш маҳсуллари сопл 3га йўналтирилади, у ерда сўнги босимигача кенгаяди.

$V=const$ бўлган иссиқлик бериладиган ГТҚнинг идеал ғиклининг PV диаграммаси 10.6-расмда ва TS диаграммаси 10.7-расмда тасвирланган. Ишчи жисм узининг бошланғич кўрсаткичлари. P_1, V_1, T_1 билан адиабат 1-2 бўйича нукта 2 гача сиқилан, босими эса босимнинг ошиш даражаси билан белгиланади. Сўнгра 2-3 бўйича ишчи жисмга q_1 миқдордаги иссиқлик берилади кейинчалик ишчи жисм 3-4 адиабат бўйича бошланғич босимига кенгаяди.

Компрессорда босимнинг ортиш даражаси $\beta = P_2 / P_1$ ва босимнинг кўшимча ортиш даражаси $\lambda = P_3 / P_2$ ғиклнинг тавсифи (характеристикаси) ҳисобланади.

Берилаётган иссиқлик қўйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q_1 = C_V(T_3 - T_2),$$

Олинаётган иссиқлик эса - ифода билан

$$q_2 = C_P(T_4 - T_1)$$

q_1 ва q_2 ларнинг қийматларини ғиклнинг термик ф.и.к. ифодасига қўйиб, қўйидагини оламиз.

$$\eta_l = 1 - q_2 / q_1 = 1 - [C_P(T_4 - T_1)] / C_V(T_3 - T_2) = 1 - K(T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)$$

T_2, T_3 , ва T_4 ҳароратларни ишчи жисмнинг бошланғич ҳарорати T_1 билан белгилаймиз

1-2 адиабат учун

$$T_2 / T_1 = (P_2 / P_1)^{(K-1)/K} = \beta^{(K-1)/K}; \quad T_2 = T_1 \beta^{(K-1)/K};$$

2-3 изобар учун

$$T_3 / T_2 = P_3 / P_2 = \lambda; \quad T_3 = T_2 \lambda = T_1 \beta^{(K-1)/K} \lambda;$$

3-4 адиабат учун.

$$T_4 / T_3 = (P_4 / P_3)^{(K-1)/K} = (P_1 / P_3)^{(K-1)/K} = (P_1 / \lambda P_2)^{(K-1)/K} = (P_1 / P_1 \beta \lambda)^{(K-1)/K};$$

$$P_3 = \frac{T_3 P_2}{T_2} = \frac{T_1 \beta^{(K-1)/K} \lambda P_2}{T_1 \beta^{(K-1)/K}} = \lambda P_2$$

$$T_4 = T_3 (1 / \beta \lambda)^{(K-1)/K} = T_1 \beta^{(K-1)/K} \lambda \left(\frac{1}{\beta \lambda} \right)^{(K-1)/K} = T_1 \lambda^{1/K}$$

Хосил бўлган ҳароратларни ғиклни термик фойдани иш коэффиценти ифодасига қўйиб, қўйидагини оламиз

$$\eta_l = [1 - \kappa(T_4 - T_1)] / (T_3 - T_2) = 1 - \kappa(T_1 \lambda^{1/K} - T_1) / [T_1 \beta^{(K-1)/K} \lambda - T_1 \beta^{(K-1)/K}]$$

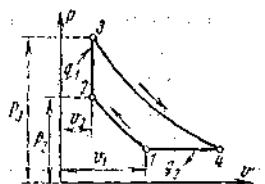
ёки

$$\eta_l = 1 - [\kappa(\lambda^{1/K} - 1)] / [\beta^{(K-1)/K}(\lambda - 1)] \quad (10.5)$$

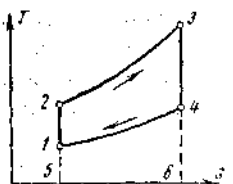
Иссиқлик ўзгармас ҳажмда берилганда ГТҚнинг термик ф.и.к. κ, β, λ ларга боғлиқ ва уларнинг миқдорини ортиши билан термик ф.и.к. ортади.

Иссиқлик ўзгармас ҳажмда берилганда ГТҚ нинг ғиклини ф.и.к. TS диаграммада иссиқлик берилган 5236 юза-5146 юза=1234 юзани иссиқлик олинган 5236 юзага бўлган нисбати билан аниқланади (10.7-расм).

$$\eta_l = 1234 \text{ юза} / 5236 \text{ юза};$$



10.6-расм



10.7-расм.

ГТҚ ғикларини таққослаш.

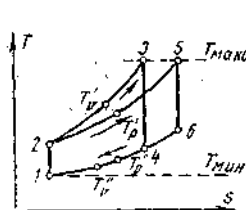
10.8-расмда босимни ортис даражаси ва энг юкори харорати бир хил бўлган ГТҚнинг ғикли келтирилган. Расмдан кўриниб турибтики иссиқликни изохорик беришда ГТҚ ғикли кўп ф.и.к. эга бўлади.

Ҳақиқатдан, 10.8-расмдан кўриниб турибтики, иссиқлик $V=const$ берилганда берилаётган иссиқликнинг ўртача интеграл T_v' харорати иссиқлик $P=const$ да берилганга қараганда ортик, олинаётган иссиқликнинг ўртача интеграл харорати T_v'' эса кам бўлади.

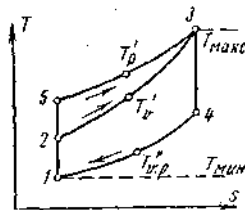
$$\eta_{\text{изо}} > \eta_{\text{изоб}}$$

Босимнинг ортиси даражаси турлича ва энг юкори харорати бир хил бўлган ГТҚда ғиклга иссиқлик ўзгармас босимда берилганда ф.и.к. иссиқлик ўзгармас ҳажмда берилгандагига қараганда кўп бўлади (10.9-расм).

$$\eta_{\text{изобар}} > \eta_{\text{изо}}$$



10.8-расм.

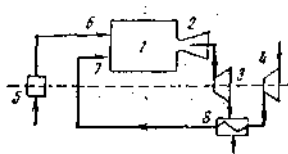


10.9-расм.

ГТҚларнинг ф.и.к. ошириш усуллари.

Ёнилғи ўзгармас босимда ёнганда босимнинг ортис даражасининг ошиши билан ГТҚнинг термик фойдали иш коэффициентини ҳам ортади. Брок босимнинг ортис даражасини β ошиши билан ёнилғининг ёнишини охиридаги харорат T_3 ҳам ошади бунинг натижасида турбинани куракларини ва соплоларини совитишни қийинлиги туфайли улар тезда ишдан чиқади.

ГТҚнинг фойдали иш коэффициентини ошириш учун иссиқликдан қайтадан фойдаланиш (регенерация), компрессорда ҳавони кўп босқичли сиқиш, кўп босқичли ёниш усулларида фойдаланимокда.

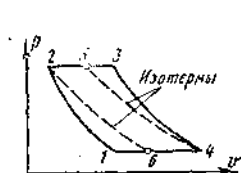


10.10-расм ёнилғининг.

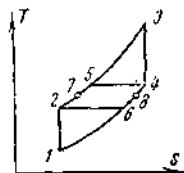
$P=const$ бўлгандаги ёнишида ГТҚ да иссиқликдан қайта фойдаланиш тизими келтирилган. Турбокомпрессор 4дан сиқилган ҳаво регенератор 8га

йўналтирилади у ерда ўзгармас ҳажмда турбина 3 дан келтирилган газдан иссиқлик олади. Регенератор 8дан чиққан иссиқлик ҳаво форсунка 7орқали, ёнилғи эса ёнилғи насоси 5 ва форсунка 6 орқали ёниш камераси 1га йўналтирилади.

Иссиқликдан қайта фойдаланиладиган ГТҚнинг идеал ғикли 10.11 ва 10.12 - расмларда тасвирланган.



10.11-расм



10.12-расм

Бу расмлардаги 1-2 чизик компрессорда ҳавони адиабатли сиқиб; 2-5-регенераторга иссиқликни изобар бериш; 5-3-ёниш камерасига иссиқликни ўзгармас босимда бериш; 3-4-турбинанинг сопласида ёниш махсулининг адиабатли кенгайиши; 4-6-регенераторда газдан иссиқликни изобарли олиш; 6-1-регенератордан чиқишидаги газдан иссиқликни изобарли олиш.

Агарда регенератордаги газни совитиш унга кираётган ҳавонинг ҳароратигача (T_4 дан $T_6=T_2$ гача) совитилса регенерағия тўлиқ бўлади.

$$T_4 - T_6 = T_5 - T_2$$

бўлиб, тўлиқ регенерағия бўлганда ғиклнинг ф.и.к. куйидаги ифода орқали аниқланади

$$\eta_l = 1 - q_2 / q_1$$

бу ерда

$$q_1 = C_p (T_3 - T_5) = C_p (T_3 - T_4), \quad q_2 = C_p (T_6 - T_1) = C_p (T_2 - T_1),$$

шунинг учун

$$\eta_l = 1 - [(T_2 - T_1) / (T_3 - T_4)]$$

Ғиклнинг асосий нуқталаридаги ҳарорат куйидагича аниқланади.

$$T_2 = T_1 (P_2 / P_1)^{(K-1)/K} = T_1 \beta^{(K-1)/K}; \quad T_3 = T_1 \beta^{(K-1)/K} \rho; \quad T_4 = T_1 \rho.$$

Ғиклнинг ф.и.к.

$$\eta_l = 1 - 1/\rho = 1 - T_1/T_4 \quad (10.6)$$

Иссиқлик $P=const$ да берилиб, тўлиқ регенерағия бўлганда ғиклнинг термик ф.и.к. газнинг бошланғич T_1 ва адиабатли кенгайишнинг охирдаги T_4 ҳароратларига боғлиқ.

Регенераторнинг ўлчамларини чекланганлиги ва иситилаётган газ билан совитилаётган газ ҳарорати орасидаги фарқнинг борлиги тўлиқ регенерағия қилиш имконини бермайди. Бу ҳолда регенераторда истилаётган ҳавонинг ҳарорати T_5 дан кам бўлган T_7 га эга бўлади, совитиладиган газнинг ҳарорати T_6 дан юқори бўлган T_8 га эга бўлади. Шунинг учун ғиклнинг термик фойдали иш коэффициенти ҳароратларнинг нисбатига қараб аниқланадиган регенерағия даражасига боғлиқ бўлиши керак.

$$\sigma = (T_7 - T_2)/(T_5 - T_2) = (T_4 - T_8)/(T_4 - T_6) = (T_4 - T_8)/(T_5 - T_2) \quad (10.7)$$

Регенераҗия тўлиқ бўлмаганда ГТҚнинг ғиклини термик ф.и.к., яъни $\sigma < 1$ бўлганда қуйидагича аниқланади.

$$\eta_{lpre} = 1 - [T_4 - T_1 - \sigma(T_5 - T_2)]/[T_3 - T_2 - \sigma(T_5 - T_2)] \quad (10.8)$$

Регенераҗиялаш даражаси иссиқлик алмаштирувчининг конструкҗиясига ёкн ишчи сатхининг миқдорига боғлиқ.

ГТҚларда иссиқликни рогенераҗиялаш иссиқликни ўзгармас ҳажмда беришда ҳам амалга ошириш мумкин (10.13-расм). Иссиқлик алмашғичда регенераҗия жараёни ўзгармас босимда амалга оширилади, иссиқлик бериш эса ўзгармас босимда ва ўзгармас ҳажмда ҳам амалга оширилиши мумкии. Кўрилаёгган ғикл қуйидаги жараёнлардан ташкил топган: 1-2-ҳавони компрессорда адиабатли сиқиш; 2-3- $P=\text{const}$ да сиқилган ҳавони регенераторда иситиш; 3-4-ёниш камерасига иссиқликни ўзгармас ҳажмда бериш; 4-5-турбинани соплосида ёниш махсуллари адиабатли кенгайиши; 5-6-ўзгармас боеим да регенератордаги газдан иссиқликни олиш; 6-1-иссиқлик қабул қилувчида ўзгармас босим бўлганда газдан иссиқликни олиш.

Олинган ва берилган иссиқлик миқдори қуйидагини ташкил этади.

$$q_1 = C_v(T_4 - T_3);$$

$$q_2 = C_p(T_5 - T_1) = C_p(T_3 - T_2).$$

Кўриладиган ғиклнинг термик ф.и.к. қуйидагига тенг бўлади.

$$\eta_l = 1 - \frac{\kappa[(T_5 - T_1) - (T_3 - T_2)]}{(T_4 - T_3)}, \quad (10.9)$$

Иссиқлик ўзгармас ҳажмда берилиб, иссиқликни регенераҗия қилиш натижасида ГТҚ ғиклининг термик фойдали иш коэффициентини ортади.

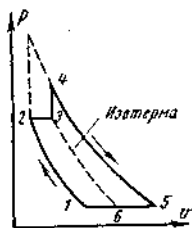
Иссиқликни ўзгармас ҳароратда бериш ва олиш билан ҳам ГТҚнинг тежамкорлигини ошириш мумкин. Брок бу усулини конструктив нуктаи назаридан қийинлигини ҳисобга олиб, амалда изотермик сиқиш жараёнини ва иссиқлик беришни тўлиқ амалга ошириш мумкин эмас. Ҳақиқий сиқиш жараёнини изотермик сиқиш жараёнига яқинлаштириш учун оралиқ совитиш билан кўп босқичли сиқиш қўлланилади. Ҳудди шундай, газ турбиналарида иссиқлик беришини ҳақиқий жараёнини изотермага яқинлаштириш учун босқичли ёниш билан ёниш махсуллари газ турбинани алоҳида босқичларида кенгайтириш қўлланилади. Кенгайиш ва сиқишни босқичлари қанча кўп бўлса, унинг термик ф.и.к. ҳам шунчалик юқори бўлади.

Техник-иқтисодий нуктаи-назардан келиб чиққан ҳолда, одатда ГТҚларни икки босқичда кенгайтирадиган ва уч босқичда сиқадиган қилиб тайёрланади. Бундай қурилмада ҳаво компрессорнинг алоҳида босқичларида кетма-кет сиқилади ва оралиқ совитилади. Юқори босимгача сиқилган ҳаво биринчи ёниш камерасига киритилади, у ерда энг юқори ҳароратгача қиздирилади. Турбинада кенгайгандан сўнг газ иккинчи ёниш камерасига киритилади, у ерда ўзгармас босимда ёнганида ҳарорати яна кўтарилади. Сўнгга ёниш махсуллари иккинчи турбинада (ёки турбинани иккинчи босқичида) кенгайди ва атмосферага чиқариб юборилади. Агарда иссиқлик регенераҗия қилинадиган бўлса, сиқилган ҳаво ишлатилган газлар билан

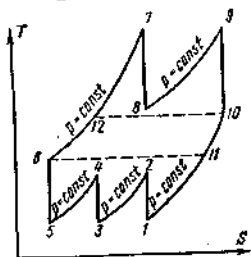
иситилади.

Бундай ГТҚнинг идеал ғикли 10.14-расмда TS -диаграммасида тасвирланган.

Иссиқликни регенерациялаш, босқичма-босқич сиқиш ва босқичма-босқич иссиқлик бериш ф.и.к. кескин оширади.



10.13-расм.



10.14-расм.

10-мавзуга оид назорат саволлари.

1. ГТҚнинг афзалликлари ва ишлатилиши.
2. Ёнилғи ўзгармас босимда берилганда ГТҚнинг иш жараёни қандай кечади?
3. ўзгармас босимда берилганда ГТҚнинг термик ф.и.к. қандай аниқланади?
4. Ёнилғи ўзгармас ҳажмда берилганда ГТҚнинг иш жараёни қандай кечади?
5. Ёнилғи ўзгармас ҳажмда берилганда ГТҚнинг термик ф.и.к. қандай аниқланади?
6. ГТҚни ф.и.к. қандай усуллар билан оширилади?

Адабиётлар.

1. 159...174 бетлар.
2. 60...68 бетлар.
3. 253...268 бетлар.
4. 288...303 бетлар.
5. 173...191 бетлар.
7. 126...131 бетлар.

11-мавзу, 9-маъруза, 2-соат.

Қўриладиган масалалар.

1. Компрессорларнинг таснифи ва ишлаши.
2. Индикатор диаграммаси.
3. Изотермикли, адиабатли ва политропли сиқиш.
4. Компрессорни ҳаракатга келтириш учун сарфланган иш.
5. Қўп босқичли сиқиш.
6. Термодинамик жараёнларни PV ва TS диаграммалардаги тасвири.
7. Компрессорни ички нисбий ф.и.к.
8. Компрессорнинг ф.и.к.

Таянч сўз ва иборалар.

Таснифи; сиқиш усуллари; диаграммалари; ф.и.к.; зарарли ҳажм;

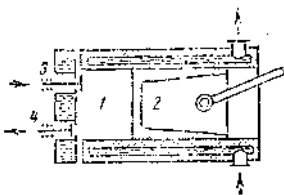
сарфланган иш.

Компрессор машиналарнинг термодинамик асослари.

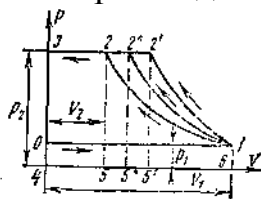
Турли газларнинг сиқиш учун қўлланиладиган машиналар компрессор деб аталади. Замонавий техникада компрессорлар кенг миқёсда фойдаланилмоқда. Улар кимё саноатида, машинасозликда, металлургияда, темир йўлларда, авиағияда, газ турбинали қурилмаларда, озик-овқат саноатида совитгичлар учун ишлатилмоқда.

Конструкциясига ва ишлаш усулига қараб компрессорлар поршенли ва турбинали бўлиши мумкин. Уларда газларни турлича сиқилишига ва конструкциясининг фарқига қарамасдан, сиқиш жараёнини термодинамикаси, турли расумдаги компрессорлар учун бир ҳил бўлади. Компрессорларда кечадиган жараёнлар бир ҳил ифодалар билан ёзилади. Шунинг учун жараёнларни текшириш ва таҳлил қилишга энг содда бўлган бир босқичли поршенли компрессорни кўриб чиқамиз.

Компрессор (11.1-расм) деворида совитиш учун сув айланадиган бўшлиғи бўлган ғидиндр 1 дан, кривошип шатун механизми билан боғланган 2-поршендан, цилиндрнинг қопқоғида махсус қутичаларда жойлашган иккита клапандан: 3-киритувчи ва 4-ҳайдовчи. Бу клапанлар цилиндрнинг ичидаги босим ўзгариши натижасида автоматик равишда очилади.



11.1-расм.



11.2-расм.

Компрессорнинг иш жараёни вални бир марта айланишида ёки поршенни бир марта бориб қайтишида амалга ошади. Поршенни ўнг томонга ҳаракат қилиши натижасида киритиш клапани очилиб цилиндрга ишчи жисм-газ киради. Поршенни тескари йўналишида (чапга) ҳаракат қилишида киритиш клапани бекилади ва газ) босими берилган (кўрсатилган) миқдоргача етгунча сиқилади бунинг натижасида ҳайдаш клапани очилади ва газ йиғив идишига қайдалади. Бундан кейин жараён қайтарилади. Босимни миқдори ҳайдаш клапанининг пружинасини кучига боғлиқ бўлади.

Компрессорнинг термодинамик ҳисобини асосий мақсади 1кг сиқилган газни олиш учун сарфланган ишни ва уни ҳаракатга келтираётган двигателни қувватини аниқлаш.

Қуйидагича йўл қўйилганига асосланиб назарий бир босқичли компрессорнинг иш жараёнини кўриб чиқамиз. Компрессорнинг ғилндрини геометрик ҳажми унинг ишчи ҳажмига тенг (зарарли ҳажмни ташкил этмайди). Поршеннинг цилиндр деворлари билан ишқаланиш ишида йўқотишлар ва клапанларда дроселлаш бўлмайди. Газни цилиндрга киритиш ва идишга ҳайдаш ўзгармас босимда бажарилади.

Компрессорда сиқилган газни олиш жараёнини назарий индикатор диаграммаси 11.2-расмда келтирилган.

Поршен чапдан ўнга қараб ҳаракат қилганда киритувчи клапан 3 очилади

ва ўзгармас босим P_1 да цилиндр газ билан тўлдирилади. Бу жараён диаграммада 0-1 чизик билан тасвирланган ва киритиш чизиги деб аталади. Поршенни тескари унган чапга қараб ҳаракатланишида киритувчи клапан 3 ёпилади ва газ сиқилади. Газни босими белгиланган миқдорга етганда ҳайдовчи клапан 4 очилиб сиқилган газни ҳаммаси цилиндрдан сақлаш учун идишга ёки истемолчига (ишлаб чиқаришга) ҳайдалади. 1-2 чизик сиқиш жараёни деб аталади. 2-3 чизик ҳайдаш чизиги деб аталади. Шунини таъкидлаш керакки 0-1 киритиш ва 2-3 ҳайдаш чизиклари термодинамик жараённи тасвирламайди, чунки ишчи жисмни ҳолати ўзгармайди фақат уни миқдори ўзгаради. Поршенни кейинги чапдан ўнга ҳаракатланишида ҳайдаш клапан бекилади, цилиндрдаги босим P_2 бир онда P_1 босимгача камаяди, киритувчи клапан очилади ва кейинчалик сиқиш жараёни қайтарилади.

Жараён қайтар ва газни кинетик энергиясини ошиши бўлмаган шароитда (ишқаланиш ҳисобга олинмаганда) 1кг сиқилган газни олиш учун сарфланган l иш қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$l = P_1 V_1 - P_2 V_2 + \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

бу ерда P_1, V_1 -цилиндрни тўлдиришда ташқи муҳит билан бажарилган иш; $P_2 V_2$ - газни ҳайдаш учун сарфланган иш; $\int_{V_1}^{V_2} P dV$ -сиқишдаги иш.

$$P_1 V_1 - P_2 V_2 = \int_2^1 d(PV) \quad \text{бўлганлиги учун}$$

$$l = \int_1^2 [-d(PV) + P dV] = -\int_1^2 V dP \quad (11.1)$$

Ишқаланиш бўлганда компрессорни ҳаракатга келтириш учун сарфланган иш (ҳақиқий иш) ишқаланишга қарши бажарилган иш миқдорида назарий ишга қараганда кўп бўлади ва қуйидагини ташкил этади.

$$lg = -\int_{P_1}^{P_2} V dP - q_{mp} \quad (11.2)$$

Бу ҳолатда сиқиш чизиги билан ордината уқи орасидаги юта сарфланган ишини бир қисмини кўрсатади.

Агарда сиқиш жараёнида газдан q_g иссиқлик олинса, термодинамикани биринчи қонунига асосан.

$$lg = -(i_2 - i_1 - q_g) \quad (11.3)$$

Компрессорда газни сиқиш жараёнида ишчи жисм билан цилиндр деворларини ўзаро иссиқлик алмашиши шароитига қараб жараён. 1-2 изотермик, 1-2' адиабатик 1-2'' политропик бўйича кечиши мумкин. Келтирилган уччала жараёнда сиқишга сарфланган ишини юзаси турлича бўлади.

1-2 изотерма бўйича сиқишда 01230 юза ва сарфланган иш энг кам бўлади. Иш сифатида берилган энергиянинг ҳаммаси газдан иссиқлик сифатида олинади. 1-2' адиабат бўйича сиқишда 012'30 юза ва сарфланган иш энг кўп

бўлади. Иш сифатида берилган энергиянинг ҳаммаси газнинг энталпиясини ўзгаришига кетади. Политроп жараён бўйича сиқишда иш миқдори юқоридаги жараёнларда келтирилган ишнинг оралиғида бўлади.

Сиқишдаги ишни камайтириш учун жараённи изотермик жараёнга яқинлаштириш керак, бунинг учун цилиндрда сиқилаётган газдан иссиқликни олиш керак. Шу мақсадда цилиндрни ташқи сатҳи совитилади.

Компрессорнинг ҳаракатга келтирадиган ишни аниқлаш.

Изотермик жараёнда газни сиқишга сарфланадиган иш графикда 01230 юза билан тасвирланган (11.2-расм). 1кг сиқилган газни олиш учун сарфланган тўлиқ иш қуйидагига тенг

$$l = 4325 \text{ юза} + 5236 \text{ юза} + 4016 \text{ юза}$$

4325 юза графикда ҳайдаш ишини тасвирлайди, 4016 юза киритишдаги ишни,

$$5216 = \int_{V_1}^{V_2} P dV \text{ юза эса сиқишдаги ишни тасвирлайди.}$$

Изотермик жараёндаги сиқишда (5216 юза) иш қуйидаги ифода билан аниқланади. $5216 = l_{из} = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}$ $l = const$ бўлганда, $P_2 V_2 = P_1 V_1$ бўлишини ҳисобга олиб $l_{из}$ ни аниқлаймиз

$$l_{из} = -P_2 V_2 - P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1} + P_1 V_1 = -P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (11.4)$$

Компрессорни ҳаракатга келтириладиган иш изотермик сиқиш ишига тенг бўлади.

Олинган иссиқлик қўйидагига тенг.

$$q = l_{из} = -RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Адиабатик қайтар сиқиш жараёндаги иш қўйидаги тенглама орқали аниқланади.

$$5'2'16 \text{ юза} = l_{ад} = \left[\frac{1}{\kappa - 1} \right] (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

Компрессорни ҳаракатга келтиришдаги иш қўйидагини ташкил этади.

$$\begin{aligned} l_{ад}^x &= -(P_2 V_2 - P_1 V_1) - \frac{1}{\kappa - 1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = -\frac{\kappa}{\kappa - 1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \\ &= -\frac{\kappa}{\kappa - 1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} - 1 \right] \end{aligned} \quad (11.5)$$

Компрессорни ҳаракатга келтиришдаги иш адиабатик сиқишдаги ишдан κ марта кўп.

Сиқиш политроп жараёнда кечадиган компрессорлар учун иш 5"2"16 юза билан тасвирланади.

$$l_n = -(P_2 V_2 - P_1 V_1) = \left[\frac{1}{(n - 1)} \right] (P_2 V_2 - P_1 V_1) = n \left[\frac{1}{(n - 1)} \right] (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (11.6)$$

1кг газни олиш учун сарфланган иш қуйидагига тенг.

$$l_n = -\left[\frac{n}{(n - 1)} \right] RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (11.7)$$

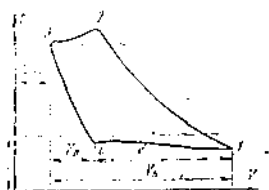
Назарий миқдордаги олинадиган иссиқлик қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q = C_V [(n - \kappa)/(n - 1)](T_2 - T_1) \quad (11.8)$$

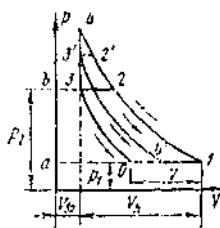
Бир босқичлик компрессорнинг ҳақиқий индикатор диаграммаси киритиш ва ҳайдаш клапанларида дросселлашдаги йўқотишларни бўлиши сабабли назарий ғиклдан фарқ қилади. Шу сабабли киритиш цилиндрдаги газни босимн муҳит босимидан кам бўлганда, ҳайдаш эса, босими ҳайдаш қувуридаги босимдан юқори бўлганда амалга ошади. Компрессорни айланишлар сонини ортиши билан йўқотишлар ҳам кўпаяди.

Бундан ташқари реал компрессорларда сиқилган газни ҳайдаётганда поршен-чекка нуқтада бўлган вақтда цилиндрни кўпқоғи билан поршен орасида зарарли бўлган бўшлиқ қолади. Зарарли бўшлиқни ҳажми одатда компрессор цилиндрнинг ҳажмини 4..10% ташкил этади. Сиқилган газни ҳайдагандан сўнг унинг маълум миқдори зарарли ҳажм $V_{кр}$ ни эгаллайди (2-3 чизик) (11.3-расм). Поршенни қайтишида зарарли қолган газ кенгайди янги газни кириши эса қолган газни босими киритиш босимигача камайягандан сўнг ёки газни келаётган муҳитидаги босимга теиғлашгандан сўнг бошланади. Сиқилган қолган газни зарарли ҳажмда кенгайиш жараёни 3-0 чизик билан тасвирланади. Газни цилиндрга кириши 0 нуқтада бошланади ва уни ҳажми $V_h - V_0 = V$ бўлади. Зарарли ҳажм (бўшлиқ) цилиндрга кираётган газни миқдорини ва компрессорни иш унумдорлигини камайтиради. V ҳажмни V_h ҳажмга бўлган нисбати ҳажмий фойдали иш коэффицент деб аталади.

Зарарли ҳажмнинг ортиши билан ҳажмий ф.и.к. камаяди ва унинг маълум миқдорида ҳажмий ф.и.к. нўлга тенг бўлади. Зарарли ҳажмни ўзгармас ҳолида сиқиш босимини ошиши ҳажмий ф.и.к. ва компрессорни иш унумдорлигини камайтиради ва сиқиш чизиги зарарли ҳажм чизигини кесиб ўтганда ҳажмий ф.и.к. нўлга эга бўлади (11.4-расм).



11.3-расм.



11.4-расм.

Биринчи ҳолат, сиқиш жараёни 1-2 босим P_2 бўлганда тугайди, газни ҳайдаш 2-3 чизик бўйича амалга оширилади. Цилиндрдаги босим 3-0 чизик бўйича пасаяди ва киритиш 0 нуқтада бошланади.

Иккинчи ҳолатда P_2 босимни ортиши билан сиқиш 2 нуқтада тугайди ва ҳайдаш 2'-3' чизик бўйича амалга оширилади. Бу ҳолатда ҳайдалаётган газнинг миқдори биринчи ҳолга қараганда анча кам. Учинчи ҳолатда P_2 босимни ошишини давом этишида сиқиш 4 нуқтада тугайди, яъни сиқиш чизигини зарарли ҳажм чизиги билан кесишган жойда; бу ҳолатда ҳайдаш чизиги нуқтага айланиб қолади ва цилиндрга янги газни кириши амалга ошмайди. Ишлаётган компрессорда поршен даврий равишда бир ҳил миқдордаги газни ҳайдамасдан

сиғади. Бу ҳолатда компрессорнинг ҳажмий ф.и.к. ва иш унумдорлиги нўлга тенг бўлади. Цилиндрга кираётган газни ҳароратини ошиши натижасида унинг массали миқдорини камайиши T'_1/T_1 нисбати билан аниқланади; бу ерда T'_1 - кираётган газни ҳарорати; T_1 - киритиш жараёнида цилиндрда қизиган газни ҳарорати.

Зарарли ҳажм ва газни исиши оқибатида компрессорнинг умумий иш унумдорлигини камайиши тўлдириш коэффиценти билан белгиланади.

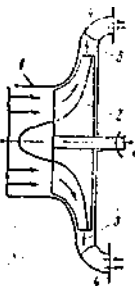
$$\eta_{\text{мул}} = \eta_{\text{хаж}} T'_1/T_1 \quad (11.9)$$

Зарарли ҳажмни ҳисобга олганда компрессорни ҳаракатга келтиришдаги назарий ишни умумийси 12301 юза билан тасвирланади (11.4-расм).

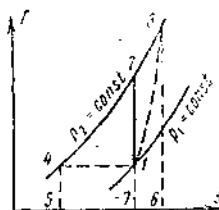
Сиқилган газнинг босимини ортиши билан компрессорнинг иш унумдорлигини камайиши бир цилиндрда юқори босимли газни олишга имкон бермайди. Одатда бир босқичли компрессор газни босимини 6...10 бар (0,6...1,0 МПа) гача сиқиш учун қўлланилади.

Марказдан қочма хайдовчилар (турбо ва ўқ чизиғи бўйича компрессорлар) поршенли компрессорларга қараганда узлуксиз хайдаши ва ишчи жисмни катта тезликда силжиши билан фарқланади. Марказдан қочма компрессор қуйидаги қисмлардан ташкил топган (11.5-расм).

1-киритиш патрубкасидан, ишчи ғилдиракдан, 3 диффузордан ва чиқариш 4-патрубкасидан. Газ киритиш патрубкеси орқали ишчи ғилдиракни кураклари ҳосил қилган каналга киради. Ғилдиракнинг айланиши натижасида марказдан қочма куч натижасида газ диффузорга улоқтирилади, у ерда газ керакли миқдоргача сиқилади, яъни газ оқимини тормозланиши натижасида сиқилади.



11.5-расм.



11.6-расм.

Хайдаш орқали газ оқимини ҳосил қилиш учун l_g иш сарфланади ва qg иссиқлик олинади (q_{mp} - ишқаланиш иссиқлиги qg га кирмайди). Агарда киришда оқимнинг ҳолати P_1 , V_1 , t_1 ва W_1 кўрсаткичлар билан, чиқишда эса - P_2 , V_2 , t_2 ва W_2 кўрсаткичлар билан белгиланса унда оқимни асосий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$l_g = (i_2 - i_1) - [(W_2^2 - W_1^2)/2]q_g.$$

Агарда оқимни кинетик энергиясини компрессорга киришдаги ва ундан чиқишдаги фарқи оз бўлса, уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади ва унда

$$l_g = (i_2 - i_1 - q_g) \quad \text{га эга бўлади.}$$

Бу теглама поршенли компрессорларнинг тенгламасига мос келади.

Газ оқими учун термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$q_g + q_{mp} = i_2 - i_1 - \int_{P_1}^{P_2} dP - q_{mp}.$$

l_g ни ифодасига q_g нинг қийматини ўрнига қўйсак, марказдан қочма компрессорнинг ҳаракатга келтириш учун сарф бўлган ишни аниқлаш тенгламасини ҳосил қиламиз.

$$l_g = - \int_{P_1}^{P_2} dP - q_{mp}.$$

бу тенглама поршенли компрессорларнинг тенгламасига мос келади.

Реал компрессорда сиқиш жараёни.

Реал компрессорларда сиқиш жараёни ишқаланишдаги йўқотишларни борлиги ва ташқи муҳит билан иссиқлик олماшиши билан белгиланади. Реал компрессорларни ҳисоблашда компрессорни ҳаракатга келтирадиган ҳақиқий иш совитиладиган компрессорларда изотермик сиқишдаги ишга ва совитилмайдиган компрессорларда адиабатик сиқишдаги ишга тенг деб қабул қилинади. Реал компрессорларнинг самарадорли иши изотермик ва адиабатик ф.и.к.лари билан аниқланади. Бу коэффицентлар компрессорни ҳаракатга келтиришдаги назарий ишини ҳақиқий ишига бўлган нисбати кўринишида бўлади.

$$\eta_{из} = l_{из} / l_g; \quad \eta_{ад} = l_{ад} / l_0$$

TS -диаграммада қайтар 1-2 ва (шартли) қайтмас 1-3 (ҳақиқий жараён) адиабатик жараён тасвирланган (11.6-расм). 3-тенгламага асосан адиабат компрессорни ҳаракатга келтиришдаги ҳақиқий иш қўйидагига тенг.

$$l_{ад} = -(i_2 - i_1) = -C_p(T_3 - T_1),$$

қайтар адиабатик сиқишидаги назарий l_T иш эса

$$l_T = -C_p(T_2 - T_1) \text{ бундан компрессорнинг адиабатик ф.и.к.}$$

$$\eta_{ад} = (T_2 - T_1) / (T_3 - T_1) \text{ га тенг бўлади (11.10).}$$

Қайтмас адиабатик жараённи шартли равишда маълум аниқлик билан кўриш мумкин, кўрсаткичлари n бўлган айрим политропларга ўхшаб, қайсики қиймати ишқаланиш кучига боғлиқ бўлган.

Бунда $T_2 / T_1 = (P_2 / P_1)^{(K-1)/K}$, $T_3 / T_1 = (P_2 / P_1)^{(n-1)/n}$, шунинг учун

$$\eta_{ад} = \frac{(P_2 / P_1)^{(K-1)/K} - 1}{(P_2 / P_1)^{(n-1)/n} - 1} \quad (11.11)$$

Политроп кўрсаткични ўртача қиймати сиқишни бошланишидаги ва охиридаги газни кўрсаткичлари билан аниқланади. Совитилмайдиган компрессорни ҳаракатланишидаги ҳақиқий иши

$$l_g = l_T / \eta_{ад} \text{ ни ташкил этади ёки}$$

$$l_g = -[\kappa / (\kappa - 1)] R T_1 [(P_2 / P_1)^{(n-1)/n} - 1] \quad (11.12)$$

Агарда сиқишни ҳақиқий жараёнини шартли политроп кўрсаткичи аниқ бўлса совитилмайдиган компрессорни ҳаракатга келтирадиган ҳақиқий ишини аниқлаш мумкин. TS - диаграммада 3456 юза билан l_g ва 2457 юза билан l_T назарий иш тасвирланган (11.6-расм) (фақат идеал газ учун).

Бир хил миқдордаги политроп кўрсаткичи, иссиқлик олиш мавжуд

бўлганда, ишқаланишдаги ишни ҳар ҳил миқдорига мос келиши мумкин, шунинг учун совитиладиган компрессорда политроп кўрсаткичини миқдорини билиш етарли эмас. Компрессорни ҳаракатга келтириш учун сарфланадиган самарали қувват қуйидаги ифода орқали аниқланадн.

$$Ne = l_n m / \eta_n \eta_{\text{мех}} \eta_{\text{нан}} \quad (11.13)$$

бу ерда l_n газии политропик сиқишдаги компрессорни ҳаракатга келтиришдаги иши, Ж/кг ; $m = V_n \rho_n$ - компрессорни секундли ва V_n -нормал шароитдаги ҳажмий иш унумдорлиги, $\text{м}^3/\text{сек}$; ρ_n -нормал шароитдаги газни зичлиги; η_n - газни политропик сиқишидаги компрессорни ф.и.к.; $\eta_{\text{м}}$ - ишқаланишдаги йуқотишни ҳисобга оладиган механик ф.и.к.; $\eta_{\text{нан}}$ -тўлдириш ф.и.к.

Кўп босқичли компрессор.

Юқори босимли газни олиш учун кўп босқичли компрессорлардан фойдаланилади (11.7-расм). Бундай компрессорларда ҳар бир сиқишдан сўнг оралиқ совитиладиган кетма-кет уланган бир неча цилиндрларда газ политропик сиқилади. Газнинг бир неча цилиндрда сиқиш ҳар бирини босимларини нисбатини камайтиради ва компрессорининг ҳажмий ф.и.к. оширади. Бундан ташқари ҳар бир босқичдан сўнг газни совитиш поршенни цилиндрда мойлаш шароитини яхшилади ва компрессорни ҳаракатга келтирадиган энергия сарфини камайтиради.

1.8-расмда уч босқичли компрессорнинг идеал индикатор диаграмаси келтирилган. 0-1 биринчи босқични киритиш чизиғи; 1-2 биринчи босқичда сиқишни политропик жараёни;

2-а биринчи босқичдан биринчи совитгичга ҳайдаш чизиғи;

а-3 иккинчи босқични киритиш чизиғи;

3-4 иккинчи босқичдаги сиқишни политропик жараёни;

4-в иккинчи босқичдан иккинчи совитгичга ҳайдаш чизиғи;

в-5 учинчи босқични қиритиш чизиғи;

5-6 учинчи босқичда сиқишни политропик жараёни;

6-с учинчи босқичдан идишга ёки истеъмолчига ҳайдаш чизғи.

2-3 ва 4-5 чизиқнинг ВД кесими ўзгармас босимда биринчи ва иккинчи совитгичда совитиш жараёнида газни ҳажмини камайтишини тасвирлайди. Ҳамма совиткичларда ишчи жисмнинг ҳарорати T_1 гача совитилади, шунинг учун газнинг ҳарорати 1,3 ва 5 нукталарда бир ҳил бўлади ва 1-7 изотерма чизиғида ётади.

Ҳамма босқичларда босимларнинг нисбати одатда бир ҳил қилиб олинади:

$$P_2 / P_1 = P_4 / P_3 = P_6 / P_5 = x \quad (11.14)$$

Ҳамма босқичларда босимларнинг нисбатини бир ҳиллигида, бошланғич ҳароратларнинг тенглигида ва политроп кўрсаткичларнинг тенглигида компрессорнинг алоҳида босқичларида газнинг охириги ҳароратлари ҳам ўзаро тенг бўлади.

$$T_2 = T_4 = T_6$$

(14) тенгламадан $x = P_2 P_4 P_6 / P_1 P_3 P_5$ бундан ҳар бир босқичда босимни ортиш даражаси

$$x = \sqrt[n]{P_6 / P_1} \text{ бўлади ёки } z \text{ босқичли бўлганда} \\ x = \sqrt[n]{P_z / P_1} \text{ ни оламиз} \quad (11.15)$$

Ҳар бир босқичда газни сиқиш политроп жараёни бўлганда уч босқичли компрессорнинг ҳаракатга келтирадиган иш 0123456СО юза билан аниқланади. Агарда газни сиқиш политропик жараён бўйича амалга оширилиб, босим P_6 гача кўтарилса унда компрессорни ҳаракатга келтириладиган иш 018 СО юзага эга бўлади. Бир босқичли сиқишдан оралиқ совитиш билан уч босқичли сиқишга ўтилса иш кам сарфланади, яъни иш 2345682 юзага тенг бўлади.

Ҳар бир босқичга кириш олдида газни ҳарорати тенг бўлса ва ҳар бир цилиндрдаги газлар босимининг нисбати тенг бўлса компрессорнинг босқичига сарфланган ишда ҳам тенглик бўлади;

Биринчи босқичдаги иш.

$$l_1 = \frac{n}{n-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{n}{n-1} R T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right];$$

Иккинчи босқичдаги иш.

$$l_2 = \frac{n}{n-1} P_3 V_3 \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{n}{n-1} R T_3 \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right];$$

Учимчи босқичдаги иш.

$$l_3 = \frac{n}{n-1} P_5 V_5 \left[\left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] = \frac{n}{n-1} R T_5 \left[\left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right];$$

Бундан $l_1 = l_2 = l_3$

Компрессорнинг уч босқичида 1кг газни сиқиш учун сарфланадиган жоул ҳисобидаги умумий иш $l_K = 3l_1$ га тенг ёки m кг газ учун $L_K = 3ml_1$.

Кўп босқичли компрессорни ҳаракатга келтирадиган иш бир босқични ишини босқичлар сони кўпайтмасига тенг.

Газни бир ҳил шароитда сиқганда газдан олинаётган иссиқлик ҳамма босқичларда бир ҳил бўлади.

$$q = C_V \frac{(n-\kappa)}{(n-1)} (t_1 - t_2) \quad (11.16)$$

Изобар жараёнда совитилганда исталган совитгичдаги газдан олинаётган иссиқликнинг миқдори кўйдаги ифода орқали аниқланади.

$$q_P = C_{pm} (t_2 - t_1) \quad (11.17)$$

Уч босқичли компрессорда адиабатли сиқиш жараёнини TS -диаграммаси 1-2, 3-4 ва 5-6 тўғри чизиклар билан, совитиш жараёни эса 2-3, 4-5 ва 6-7 эгри чизиклар билан 9-расмда тасвирланган.

Политропли сиқиш жараёни 1-2, 3-4 ва 5-6 чизик билан, совитгичда совитиш жараёни эса 2-3, 4-5 ва 6-7 чизиклар билан 11.10-расмда келтирилган.

Компрессорнинг цилиндрига кириш олдида газнинг ҳарорати бир ҳил $T_1=T_3=T_5$ бўлганда ва цилиндрдан чиқайтган газнинг ҳарорати бир ҳил $T_2=T_4=T_6$ бўлганда $a12b$, $c34d$ ва $e56f$ юзалар ўзаро тенг бўлади. Бу шуни кўрсатадики газни сиқаётганда ҳамма цилиндрларда газдан бир ҳил миқдордаги иссиқлик олинади. $b23c$, $d45e$ ва $f67i$ юзлар ҳам ўзаро тенг, бундан келиб чиқадики изобарли совитиш жараёнида совитгичлардан ҳам бир ҳил миқдордаги иссиқлик олинади.

11-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Қандай машиналар компрессор деб аталади?
2. Бир босқичли компрессорнинг назарий индикатор диаграммаси.
3. Компрессорда газни сиқишда қандай жараёнлар бўлиши мумкин?
4. Қандай сиқиш жараёни энг мақбул ҳисобланади?
5. Ҳақиқий индикатор диаграмма назарий индикатор диаграммадан нима билан фарқланади?
6. Зарарли ҳажм нима?
7. Нима учун кўп босқичли компрессор ишлатилади?
8. Компрессорни ҳаракатга келтирадиган иш қандай ифода билан аниқланади?

Адабиётлар.

1. 209...231 бетлар.
2. 51...55 бетлар.
3. 222...234 бетлар.
4. 224...234 бетлар.
5. 106...118 бетлар.

12-мавзу, 10-март, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Совитиш қурилмаларининг таснифи.
2. Ишчи жисм.
3. Совитиш коэффициенти ва совуқ ишлаб чиқариш.
4. Ҳаволи совитиш қурилмасининг ғикли.
5. Буғ компрессорли совитиш қурилмасининг ғикли.
6. Абсорбцияли ва буғ эжекторли совитиш қурилмалари тўғрисида тушунча.

Таянч сўз ва иборалар.

Таснифи; ишчи жисм; совитиш коэффициенти; тизимлари; диаграммалари; абсорбция.

Совитиш қурилмаларининг ғикли.

Термодинамиканинг иккинчи қонунига мос ҳолда айтилган эдики Карнонинг Тескари ғиклида механик иш сарфлаб паст ҳароратли манбадан иссиқликни олиб юқори ҳароратли манбага бериш мумкинлиги тўғрисида. Жисмнинг ҳароратини атроф-муҳит ҳароратидан паст бўлган ҳароратда узлуксиз ишлаб турадиган машинага совитгич машиналари деб аталади.

Совитгич қурилмаларини икки гуруҳга бўлиш мумкин. Совуқни дастлабки даврда саноат усулида олишни амалга оширган газ ва ҳаво

қурилмаларини биринчи гуруҳга киритиш мумкин. Бундай қурилмаларнинг самарадорлиги юқори бўлмаганлиги ва айрим агрегатларининг ўлчамлари катта бўлганлиги учун кенг миқёсда тарқалмади.

Иккинчи гуруҳга компрессорли буғ машиналари киради. Ишчи жисм сифатида турли жисмларнинг буғларидан фойдаланилади: Аммиак (NH_3), карбонат ангидрид (CO_2), олтин гугурт ангидриди (SO_2), фреонлар (фреон-12, $CF_2 Cl_2$) ва бошқалар. Буғли совитгич қурилмалари, ўзининг ишончли ишлашини юқорилиги учун саноатда кенг миқёсда тарқалишга эга бўлади.

Совитгич қурилмалари иссиқлик двигателларидан фарқланиб, тескари ёки совитгич ғикли бўйича ишлайди (Карнони қайтар тескари ғикли бўйича) (12.1-расм).

1-4 жараёнда совитиладиган жисмдан иссиқ олиниб ишчи жисмга q_2 иссиқлик берилади; у 51465 юза билан тасвирланган. 2-3 жарасида ишчи жисмдан q_1 иссиқлик олинади, 23652 юза билан тасвирланган. Бу иссиқлик иссиқликни юқори манбанга ҳарорати 3-2 жараёндаги ўзгармас ҳароратга тенг бўлган ҳароратда берилади. 12341 юза сарфланган механик ишга эквивалент.

Тескари ғиклнинг такомиллашганлигини кўрсаткичи совитгич коэффиценти ҳисобланади.

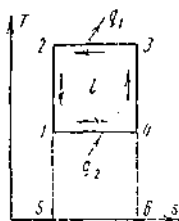
$$\varepsilon = q_2 / l$$

Буғ компрессорли совитиш қурилмаларининг ғикли.

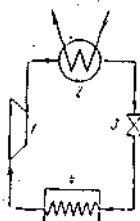
Жисмнинг ҳароратини $-20^{\circ}C$ гача совитиш учун ишчи жисми (совитиш агенти) сифатида босими юқори бўлмаган аммиак, френол, олтин гугурт ангидриди ва бошқалар ҳисобланган қурилмалар кенг тарқалган.

Аммиак буғида ишлайдиган компрессорли совитиш қурилмасининг тизими 12.2-расмда келтирилган. Бу тизимдаги 1-компрессор; 2-конденсатор; 3-дросселли вентил; 4-совитиладиган хона (буғлатгич).

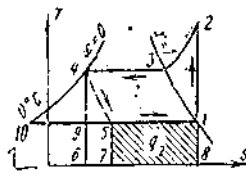
Компрессорда аммиакни қуруқ тўйинган буғи ёки қуруқлик даражаси юқори бўлган нам буғи 1-2 адиабат бўйича қизиган буғ ҳолати 2гача сиқилади. (12.3-расм).



12.1-расм.



12.2-расм.



12.3-расм.

Компрессордан буғ конденсаторга ҳайдалади, у ерда буғ тўлиқ суюқ ҳолга айланади (2-3-4). Суюқ аммиак конденсатордан дроссел вентили орқали ўтиб дросселланади, яъни ҳароратини ва босимини пасайиши кузатилади. Сўнгра суюқ аммиак паст ҳарорат билан совитгичга келади, у ерда иссиқлик олиб буғланади (5-1 жараён), совитиладиган хонада (камера) айланиб рассолни совитади. Дросселлаш жараёни қайтмас жараён ҳисобида диаграммада 4-5 шартли эгри чизиқ билан тасвирланган. Буғ компрессорли қурилмада кенгайтирувчи ғилидр ишлатилмайди, ишчи жисм эса ростловчи вентилда дросселланади. Кенгайтириш цилиндрини дроссел билан алмаштиришда

энтропияни кўтарилиши кузатилади, бу совитиш 4 унумдорлигини бирмунча йўқотилишига олиб келади, броқ қурилмани соддалаштиради, босимни осон созлашга ва совитгичда қайтмас ҳароратни олишга имкон беради. Кенгайтириш ғилиидри бўлганда жараён адиабат 4-9 бўйича кечар эди. Кенгайтириш цилиндрини дроссел вентили билан алмаштиришдаги совитиш унумдорлигини йўқолиши 95769 юза билан ўлчанади, шунинг учун совитиладиган жисмдан 1кг аммиакни оладиган q_2 иссиқлик миқдори камаяди ва 75187 юза билан тасвирланади $(i_1-i_5)=(i_1-i_4)$. Конденсатордаги совитиладиган сувдан олинган иссиқлик миқдори q_1 64286 юза билан тасвирланади. Ғиклни бажариш учун сарфланган иш $l' = q_1 - q_2 = 6412576 \text{ юза} = 1041210 = i_1 - i_2$. Аммиакни дросселлаш натижасида 5 нуқтадаги энталпия 4 нуқтадаги энталпияга тенг бўлиши шарти билан 6412576 юза 1041210 юзага тенг бўлади.

Аммиакли компрессор қурилмасини совитиш коэффиценти қуйидагига тенг.

$$\varepsilon = q_2 / l' = (75187 \text{ юза}) / (104121 \text{ юза}),$$

бу ерда $q_2 = i_1 - i_5 = i_1 - i_4$ - совитиладаги аммиак бўғини олган иссиқлик миқдори; $l' = i_2 - i_1$ - компрессорда бўғни адиабатли сиқиш учун сарфланган иш.

Бундан қурилманинг совитиш коэффиценти

$$\varepsilon = (i_1 - i_4) / (i_2 - i_1) \quad \text{га тенг бўлади (12.1)}$$

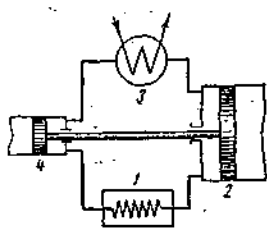
Тенгламадаги энталпияни миқдори аммиак учун К диаграммасидан ёки жадвалдан аниқланади. Буг совитиш қурилмаси ҳаво қурилмасига нисбатан афзалликларга эга. Улар ихчам, арзон ва совитиш коэффиценти юқори.

Ҳаволи, буг эжекторли ва абсорбғияли
совитгич қурилмаларининг ғикллари.

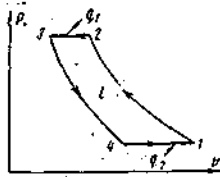
12.4-расмда ҳаволи совитиш қурилмасининг тизими тасвирланган. Бундай қурилмаларда ишчи жисм сифатида ҳаво ишлатилади. Ҳаволи совитиш қурилмаси қуйидагича ишлайди. Хона 1ни совитадиган ҳаво компрессор 2да сиқилади. Бунинг натижасида уни ҳарорати кўтарилади. Сиқилган ҳаво, атроф муҳит ҳароратигача сув билан совитиладиган иссиқлик алмашгич 3га ўзгармас босимда ҳайдалади. Сўнгра сиқилган ҳаво кенгайиш цилиндрига ёки детандер 4га киради, бу ерда сиқилган ҳаво атмосфера босимигача кенгаяди. Ҳавонинг кенгайишида унинг ҳарорати -60^0C ёки -70^0C гача пасаяди ва совиган ҳаво хонани совтиш учун йўналтирилади, у ерда ҳаво исиб яна компресорга киради.

Ҳаволи совитиш қурилмасини идеал ғиклини PV ва TS диаграммалари 12.5 ва 12.6-расмларда келтирилган.

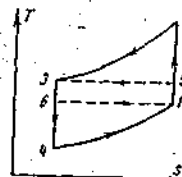
1-2 жараёнда ҳаво P_1 босимдан P_2 босимгача адиабатли сиқилади. 2-3 изобарли жараёнда ҳарорати T_2 дан T_3 гача пасайгунча ҳаводан иссиқлик ташқи манбага берилади. 3-4 жараёнда ҳавони адиабатли кенгайишида у қўшимча T_3 дан T_4 ҳароратгача совийди. 4 -1 изобарли жараёнда совитиладиган хонадан иссиқлик олинади ва бунинг натижасида ҳавонинг ҳарорати T_4 дан T_5 гача исийди.



12.4-расм.



12.5-расм.



12.6-расм.

Ғиклни бажариш учун сарфлаиған иш q_1 ва q_2 иссиқлик айирмасига тенг. Иссиқлик сиғимини ўзгармас деб ҳисоблаб қуйидагига эга бўламиз.

$$q_1 = C_p(T_2 - T_3), \quad q_2 = C_p(T_1 - T_4),$$

$$l = q_1 - q_2 = C_p(T_2 - T_3) - C_p(T_1 - T_4)$$

Бундан ғиклни совитиш коэффиценти қуйидагига тенг бўлади.

$$\varepsilon = q_2 / l = (T_1 - T_4) / [(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)] = 1 / \{[(T_2 - T_3) / (T_1 - T_4)] - 1\}.$$

1-2 ва 3-4 адиабатли жараёндан

$$T_2 / T_1 = (P_2 / P_1)^{(K-1)/K} \quad \text{ва} \quad T_3 / T_4 = (P_3 / P_4)^{(K-1)/K},$$

броқ $P_2 = P_3$, $P_2 = P_3$ шунинг учун

$$T_2 / T_1 = T_3 / T_4$$

ёки пропорцияни хусусияти бўйича

$$(T_2 - T_3) / (T_1 - T_4) = T_2 / T_1 = T_3 / T_4 \quad \text{бўлади.}$$

Шунинг учун $\varepsilon = 1 / [(T_2 / T_1) - 1] = T_1 / (T_2 - T_1)$, (12.2)

бу ерда T_1 - совитиладиган хона ҳарорати ёки компрессорга кираётган ҳавони ҳарорати; T_2 - сиқилган ҳавонинг ҳарорати.

Ҳаволи совитиш қурилмасининг ғикли қайтмас, чунки ҳарорати ўзгармас T_3 га тенг бўлган ҳарорат билан иссиқлик атроф муҳитга берилади. Ҳарорати T_1 дан ошмайдиган бир ҳил ушлаб туриладиган совитиладиган хонадан иссиқлик берилади. Ғиклнинг такомиллашмагани учун компрессордан сўнг ҳаво $T_2 - T_3$ ҳароратлар айирмаси миқдорига исиши ва совитиладиган хонани ҳароратидан паст ҳарорат $T_1 - T_4$ га совиши мумкин. 5-3 изотермли жараён иссиқликни олиш учун, 6-1 изотермли жараён иссиқликни бериш учун такомиллашганроқ жараён бўлади (12.6-расм). Бунда келтирилган жараёнлар маълум ораликда қайтар жараёнда ўтиш мумкин. 1-5-3-6-1 ғикл Карнони қайтар ғикли бўлади, демак Карнони тескари қайтар ғикли совитиш қурилмасини такомиллашгани ҳисобланади.

Ҳаволи совитиш қурилмасида Карно ғиклига қараганда 2352 ва 1641 юзалар йиғиндисига тенг бўлган миқдорда қўшимча иш сарфланади. Бунда совитиладиган хонадан бир ғиклда олинадиган иссиқлик Карно ғиклидаги иссиқликка нисбатан 1641 юза миқдорича кам бўлади. Карнони тескари ғиклига эквивалент бўлган совитиш коэффиценти қуйидагига тенг бўлади

$$\varepsilon_K = q_2 / l = q_2 / (q_1 - q_2) = T_1 / (T_3 - T_1);;$$

бунда $T_3 < T_2$, $\varepsilon_K > \varepsilon$.

Ҳаволи совитиш қурилмаси термодинамикли мукаммалашмаган ҳисобланади, қурилма кам тежамкорли ва ўлчамлари катта.

12.7-расмда буғ эжекторли совитиш қурилмасини тизими

тасвирланган. Ишчи жисмни буғи буғлатгич 1дан эжекторни аралаштиргич камераси 2га тушади (киради). Ушбу камерага қозон 6 дан сопло орқали буғ берилади. Камерада ҳосил бўлган буғ аралашмаси эжектор диффузорида сиқилади ва конденсатор 3га киради, бу ерда иссиқликни бериб тўлиқ конденсағиялашади. Суюқлик конденсатордан чиқишида икки оқимга тармоқланади. Суюқликнинг бир оқими ростлайдиган вентил 4да дросселанади. У ерда босимни ва ҳаракатни пасайиши содир бўлади, суюқликни бир қисми эса буғга айланади. Совитиш агенти деб ҳисобланадиган, қуруқлик даражаси кам бўлган (10%гача) олинган нам буғлатгич 1га киради. Конденсатни иккинчи оқими таъминловчи насос 5 орқали қозонга йўналтирилади, у ерда ташқаридан келтирилган иссиқлик ҳисобига буғга айлалнади ва яна эжекторни сопласига тушади.

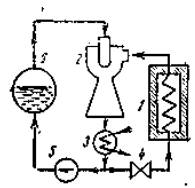
Совитиш агенти нам буғ совитиладиган жисмдан иссиқлик олиб, ўзгармас босимда буғланади ва қуруқ буғ кўринишида эжекторни аралаштириш камерасига юборилади ва ғикл қайтарилади. Буғ эжекторли совитиш қурилмасида энергия механик иш шаклида эмас иссиқлик шаклида сарфланади. Буғ эжекторли совитиш қурилмасини совитиш коэффициенти қўйидаги ифода орқали аниқланади

$$\varepsilon_K = q_2 / q_1 \quad (12.3)$$

Бу ерда q_2 - буғлатгичдаги совитиш агентини бир килограмига берилган иссиқлик; q_1 - буғ қозонидаги бир килограмми совитиш агенти бўлган буғга келтирилган иссиқлик.

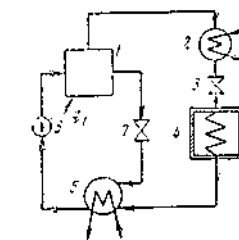
Буғ эжекторли совитиш қурилмасини афзал томонларидан бири унда қиймат турадиган компрессорнинг ишлатилмаслиги. Бундай қурилмалар содда, ишлашида ишончли, ҳамма қисмларини улчамлари кичик, лекин термодинамикли такомиллашгани ва тежамкорлиги юкори эмас.

Совитиш қурилмаларини яна бири ли совитиш қурилмаларидир. Бир жисмни иккинчи жисм ютиши абсорбғия деб аталади. Бундай совитиш қурилмалари бошқа қурилмалардан конструкторғиясини соддалиги билан ажралиб туради.



12.7-расм.

12



12.8-расм.

12.8-
расмда
абсорбғияли
совитиш
қурилмасини

тизими келтирилган. Буғ генератори 1да q_1 иссиқлик берилганда бинар аралашмада совитиш агенти буғланади ва қуруқ тўйинган кўринишдаги буғ конденсатор 2га йўналтирилади бу ерда буғ ҳосил бўлиш иссиқлигини совитиш сувига бериб тўлиқ конденсатланади. Совитиш агенти суюқ ҳолда ростлайдиган вентил 3 да дросселланади ва уни босими пасаяди, суюқликни ҳарорати совитиладиган хона 4ни ҳароратидан паст бўлган ҳароратгача тушади. Совитиладиган жисмдан q_2 иссиқликни олиб, агент нам буғ ҳосил қилиб абсорбер 5га тушади, у ерда иссиқликни совитиладиган сувли абсорбцияга бериб абсорбент тўлиқ ютади. Абсорбент билан агент абсорбцияланганда юқори концентратиялашган эритма насос 6 орқали буғ генераторига узатилади, у ерда ташқаридан q_1 иссиқлик берилиши натижасида эритмадаги агент буғланади ва конденсатор 2га йўналтирилади. Агентни концентратияси кам бўлган абсорбент дросселлаш вентили 7да босими ва ҳарорати пасайиб абсорбер 5га йўналтирилади. Абсорберда агентни концентратияси ошади ва яна насос 6 орқали буғ генераторига йўналтирилади. Совитиш коэффициенти ёки абсорбцияли совитиш қурилмасини иссиқликдан фойдаланиш даражаси қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\varepsilon_K = q_2 / q_1 \quad (12.4)$$

бу ерда q_2 совитиладиган жисмдан совитиш агенти олган иссиқлик миқдори; q_1 - буғ генераторида сарфланган иссиқлик миқдори.

Совитиладиган жисмдан олинган иссиқликни буғ генераторида сарфланган иссиқликка бўлган нисбати совитиш коэффициенти деб аталади. Абсорбцияли совитиш қурилмаси буғ қурилмаларига қараганда термодинамиквий кам такомиллашган, лекин у содда, ишончли, тайёрлашда арзон шунинг учун уй совитгичларида кенг тарқалган.

12-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Совитиш қурилмалари қандай гуруҳларга бўлинади?
2. Буғ эжекторли ва абсорбцияли совитиш қурилмалари буғ компрессор қурилмаларидан нима билан фарқ қилади?
3. Совитиш коэффициенти деб нимага айтилади?
4. Ҳаволи совитиш қурилмаларининг камчилиги?
5. Буғ компрессорли совитиш қурилмасини ишлаши
6. Буғ компрессорли совитиш қурилмасини идеал ғиклини TS диаграммасидан тасвири.

Адабиётлар.

1. 195...206 бетлар.
2. 73...78 бетлар.
3. 299...312 бетлар.
4. 368...396 бетлар.
5. 235...246 бетлар.
6. 215...227 бетлар.

13-мавзу, 11-март, 1-соат.
Қуриладиган масалалар.

1. Иссиқлик алмашиш назарияси фани ва вазифаси.
2. Саноат жараёнларида иссиқлик алмашишни ахамияти.
3. Асосий тушунчалар ва аниқликлар.
4. Иссиқликнинг кўчириш усуллари: иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция, нурланиш.
5. Мураккаб иссиқлик алмашиш.

Таянч сўз ва иборалар.

Таърифи; ахамияти; турлари.

Иссиқлик алмашиш назарияси.

Асосий тушуинчалар ва иссиқ алмашиш
назариясининг таърифи.

Иссиқлик кўчиришни ҳар қандай жараёни иссиқлик алмашиш деб аталади.

Икки жисмнинг ўзаро иссиқлик алмашишида (иссиқроқ ва совуқроқ), биринчи жисмнинг ички энергияси камаяди ва иккинчи жисмнинг ички энергияси ортади. Бу жараёнда термодинамиканинг иккинчи қонунига мос ҳолда иссиқликнинг иссиқлик таъсири ўз ҳолича иссиқроқ жисмдан совуқроқ жисмга ўтади. Иссиқлик алмашувчи жисмларнинг ҳароратидаги фарқи қанчалик кўп бўлса, иссиқлик алмашиш шунчалик жадаллик; билан кечади. Иссиқликнинг (ҳароратларнинг) фарқи бўлмаганда иссиқлик алмашиш жараёни тугайди ва иссиқликни турғунлик ҳолати рўй беради.

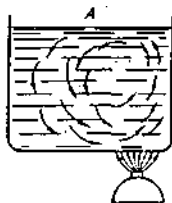
Табиатда иссиқликнинг кўчирилиши уч ҳил бўлади: иссиқлик ўтказувчанлик конвекция ва нурланиш (радиация).

Иссиқликни иссиқлик ўтказувчанлик усули билан кўчириш одатда каттик жисмларда содир бўлади. Метал таёқчани бир учини қиздириш билан, иссиқлик таёқчани ҳамма жойига тарқалишини кузатиш мумкин. Бу ҳодисани қуйидагича тушунтириш мумкин. Темир таёқчанинг қиздирилаётган учида молекулаларнинг, атомларнинг ва эркин электронларнинг иссиқлик ҳаракати аста секин тезлашади, бу шуни билдирадики уларнинг ички кинетик энергияси ортаборади. Уларнинг бир қисмини урилиши натижасида энергия таёқча бўйича нарироққа узатилади бу эса иссиқликни таёқча бўйича тарқалишига олиб келади.

Иссиқликнинг конвекция бўйича тарқалишқ фақат суюқликларда ва газларда содир бўлиши мумкин.

Иссиқликни конвекцияли тарқалишини колбадаги сувини иситишда кузатилади (13.1-расм). Колбанинг ўнг тамони кўпроқ исийди, бу эса сувни соат милини тескари йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилишига олиб келади. Сувнинг бутун массаси уни иссиқлик ўтказиши натижасида исийди, сувининг иссиқлик ўтказиши жуда кам бўлиб (пўлатга қараганда 100 мартача кам), шунинг учун унинг иссиши жуда секинлик билан кечади. Бу мисол эркин конвекцияга киради, бунда суюқликни ёки газни зарраларининг силжиши уларнинг иситганда айрим қисмларини зичлигини турлилиги таъсирида амалга ошади. Агарда суюқликни ёки газни ҳароратини вентилятор, насос, аралаштиргич ва бошқалар билан сунъий равишда амалга оширилса бундай

ковектив иссиқлик алмашишни мажбурий дейилади. Бунда сувни бутун массасини иситиш эркин конвекцияга қараганда бир мунча тезроқ амалга оширилади.



13.1-расм.

Нурланиш (радиағия) орқали иссиқликни кўчириш жисмни бир қисм ички энергиясини бўшлиқда тарқаладиган электромагнит тўлқинларини нурланиш энергиясига айлантиришга асосланган. Улар ўзининг йўлида бошқа жисмлар билан ҳам учрашиши мумкин, бунда электромагнит тўлқинини энергиясини шу жисмнинг ички энергиясига айлападигам тескари жараёми содир бўлади. Бунинг натижасида иссиқлик алмашиш икки жисм орасида бўлади, яъни бири энергияни нурлатади, иккинчиси уни ютиб юборади.

Иссиқлик алмашишини фақат бир турини иштирок этиши амалиётда жуда кам учрайди. Одатда иссиқликни кўчиришда иккита ва келтирилган учта усуллари ҳам иштирок этиши мумкин.

Техник қурилмаларда кўпроқ қуйидаги жараёнлардан фойдаланилади:

1. Иссиқликни конвективли кўчириш, бунда конвекция ва иссиқлик ўтказит биргаликда иштирок этади (масалан, қаттиқ жисмга сатхи ва унга тегиб турадиган суюқлик билан ўзаро иссиқлик алмашиш).

2. Радиағион конвективли (масалан, иссиқ газдан деворга иссиқлик ўтказишда, яъни нурланиш ва конвектив усул билан).

3. Иссиқлик ўтказиш (бир суюқликдан иккинчи суюқликка уларни ажратиб турадиган деворидан иссиқликни кўчириш, ўтказиш).

Иссиқликнинг кўчиришининг унчала турини мажмуаси мураккаб иссиқлик алмашиши деб аталади.

13-мавзу оид назорат саволлари.

1. Иссиқлик алмашиш нима?
2. Иссиқлик алмашишни қандай турлари мавжуд?
3. Иссиқ ўтказувчанлик нима?
4. Конвективли иссиқлик алмашиш қандай содир бўлади?
5. Нурланишли иссиқлик алмашиш қандай содир бўлади?
6. Мураккаб иссиқлик алмашиш нима?

Адабиётлар.

1. 268...272 бетлар.
2. 79...80 бетлар.
3. 236...238 бетлар.

14-мавзу, 11,12-маъруза, 3-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Асосий тушунчалар ва аниқликлар.
2. Фурке қонуни.
3. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти.
4. Металларда, суюқликларда ва газларда иссиқлик ўтказиш механизми.
5. Иссиқлик узатувчанликни дифференциал тенгламаси.
6. Бир хил қийматлили шарти.
7. Ҳарорат ўтказиш коэффиценти.
8. Стағионар режимда иссиқлик ўтказувчанлик.
9. Бир қатламли ва кўп қатламли текис, цилиндрикли, сферикли деворлардан иссиқлик ўтказувчанлик.

Таянч сўз ва иборалар.

Иссиқлик ўтказувчанлик; изотропли жисм; ҳарорат майдони; ҳарорат градиенти; ўтказувчанлик коэффиценти; иссиқлик оқими; оқим зичлиги; дифференциал тенглама; чекка шартлари.

Иссиқлик ўтказувчанлик.

Ҳарорат майдони.

Ҳароратлари ҳар-ҳил бўлган, бир бирига тегиб турадиган жисмларнинг энергиясининг заррачалар аро тарқалиши иссиқлик ўтказувчанлик деб аталади.

Бир жинсли ва изотропли жисмни қизишини кўриб чиқамиз. Ҳамма йўналиши бўйича бир хил хусусиятга эга бўлган жисмлар изотропли жисмлар деб аталади. Бундан жисмларии қизитганда унинг ҳарорати турли нуқталарида вақт бўйича ўзгаради ва иссиқлик юқори ҳароратли қисмидан паст ҳароратли қисмига тарқалади. Демак умумий ҳолда қаттиқ жисмларда иссиқлик узатиш ҳароратни фазода ва вақт бўйича ўзгариши билан кузатилади, яъни

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (14.1)$$

бу ерда x, y, z -нуқталар координати; τ -вақт.

Бу функция кўрилайтган жисмни иссиқлик майдонини аниқланади. Кечаётган жараёндаги ўрганилаётган фазонинг ҳамма нуқталаридаги ҳароратининг қийматини мажмуаси математиковий физикада ҳарорат майдони деб аталади.

Агарда жисмнинг ҳарорати координата ва вақтни функцияси бўлса, унда ҳарорат майдони ўзгарувчан (нестационар), яъни вақтга боғлиқ бўлади.

$$f = (x, y, z, \tau); \quad \frac{dt}{d\tau} \neq 0 \quad (14.2)$$

Агарда жисмнинг ҳарорати фақат координата функцияси бўлса, унда ҳароратнинг майдони ўзгармас (стағионар) бўлади.

$$f = (x, y, z, \tau); \quad \frac{dt}{d\tau} = 0 \quad (14.3)$$

Икки ўтчамли ҳарорат майдонини ўзгармас режими учун тенгламаси қуйидагича бўлади.

$$t = f(x, y); \quad \frac{dt}{dz} = \frac{dt}{d\tau} = 0$$

Ўзгаривчан режим учун.

$$t = f(x, y, \tau); \quad \frac{dt}{dz} = \frac{dt}{d\tau} \neq 0;$$

Амалиётда жисмнинг ҳарорати бир координата функцияси бўлиши ҳам кузатилади, у ҳолда бир ўлчамли ҳарорат майдони ўзгармас режим учун

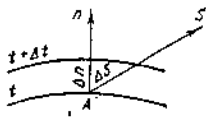
$$t = f(x); \quad \frac{dt}{d\tau} = 0 \quad \text{ва} \quad \frac{dt}{dy} = \frac{dt}{dz} = 0 \quad \text{бўлади.}$$

Ўзгарувчан режими учун

$$t = f(x); \quad \frac{dt}{d\tau} \neq 0 \quad \text{ва} \quad \frac{dt}{dy} = \frac{dt}{dz} = 0 \quad \text{бўлади.} \quad (14.4)$$

Ҳарорат градиенти.

Агарда жисмнинг бир ҳил ҳароратли нукталарини бирлаштирсак ҳароратлари тенг бўлган изотермали деб аталадиган юзани оламиз. Изотермли юзалар бир-бири билан кесишмайди. Улар бир-бирини давом эттиради ёки жисмни чегарасида тугайди.



14.1-расм.

Ҳароратлари яъин t ва $t + \Delta t$ бўлган икки изотермли юзаларни кўриб чиқамиз (14.1-расм). Қандайдир A нукталардан силжисак, ҳароратнинг жадалигини ўзгариши турли йўналишда бир ҳил эмаслигини кўрамиз. Агарда изотермали юза бўйича силжилса ҳароратнинг ўзгариши кузатилмайди. Қандайдир S йўналиши бўйича силжилса ҳароратни узгариши кузатилади. Изотермали юзага тик йўналишда узунлик бирлигида ҳароратларнинг фарқини кўпроқ бўлишини кузатиш мумкин. Ҳарорат Δt ни ўзгаришини изотермаларни нормали Δn (тик) бўйича оралиғига бўлган ўзаро нисбатини чегараси (предел), қачонки Δn нолга интилса, ҳарорат градиенти деб аталади, ўлчам бирлиги (град/м).

$$\text{grad}t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta t}{\Delta n} \right| = \frac{dt}{dn} \quad (14.5)$$

Ҳарорат градиенти вектор ҳисобланиб изотермали юзанинг ҳароратни ортиш томонига тик йўналиш бўйича ҳароратдан олинган ҳосилага тенг. Ҳароратнинг ортиш томонига йўналишини градиенти мусбат йўналиши деб қабул қилинади.

Иссиқлик ўтказувчанликни асосий қонуни.

Исталган жисмда ёки фазода иссиқликни тарқалиши учун жисмнинг турли нукталаридаги ҳароратни фарқи бўлиши керак.

Изотермали юзада жойлашган элементар dF майдондан dt вақт оралиғида ўтаётган dQ иссиқлик миқдорини градиент билан ўзаро боғлиқлигини Фурке гипотезаси белгилайди.

$$dQ = -\lambda dF grad t d\tau = -\lambda dF d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (14.6)$$

Бу ерда тенгламанинг ўнг томонидаги минус иссиқлик оқимини камайишини ва $grad t$ ни микдорини манфийлигини кўрсатади. λ -иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти деб аталади.

Вақт берлигида изотермикли юзани бирлигидан ўтаётган иссиқлик - микдорини иссиқлик оқимининг зичлиги деб аталади, ёки иссиқлик оқимини векторини зичлиги деб аталади.

$$q = -dQ/(dF d\tau,) \quad \text{ёки} \quad q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right), \quad (14.7)$$

Иссиқлик оқимининг векторини зичлиги изотермикли юзаса тик ҳароратни пасайиш томонига йўналган. q векторлари ва $grad t$ бир тўғри чизикда ётиб, қарама-қарши томонга йўналган.

Ихтиёрий сатҳдан вақт бирлигида ўтган иссиқлик микдори иссиқлик оқими деб аталади, унинг ўлчам бирлиги $[Bm]$.

$$Q = \int_F q dF = - \int_F \lambda dF \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (14.8)$$

Охирги ўлчамли ихтиёрий сирт F орқали τ вақтда ўтган жоул ҳисобидаги иссиқлик микдори қуйидаги тенглама орқали аниқланади

$$Q = \int_0^x \int_F \lambda dF dt \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (14.9)$$

Шундай қилиб қаттиқ жисмнинг қандайдир ихтиёрий сатҳи орқали ўтадиган иссиқлик микдорини аниқлаш учун кўрилатган жисмнинг ичидаги ҳарорат майдонини билиш керак. Ҳарорат майдонини топиш иссиқлик ўтказишни аналитик назариясини асосий вазифасини ташкил этади.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти λ жисмнинг физик кўрсаткичи бўлиб, уни иссиқлик ўтказиш қобилиятини белгилайди.

$$\lambda = - \frac{Q}{F \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right)}, \quad Bm/(mgrad)$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти сонли микдори изотермли сатҳ бирлигидан, ҳарорат градиенти бирга тенг ($grad = 1$) бўлганда, вақт бирлигида ўтадиган иссиқлик микдорини белгилайди. Иссиқ ўтказувчанлик коэффиценти босим ва ҳароратга боғлиқ. Кўп жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти тажрибалар орқали аниқланади ва техник ҳисоблашларда маълумотномалардан қабул қилинади.

Тажрибалар шуни кўрсатадики, кўп ашёлар учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ҳароратга боғлиқлигини чизикли деб қабул қилиш мумкин.

$$\lambda = \lambda_0 [1 + \epsilon(t - t_0)]$$

бу ерда $\lambda_0 - t_0, \quad ^\circ C$ даги иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти; t - ҳарорат, $^\circ C$ в -тажриба орқали аниқланадиган ҳарорат коэффиценти.

Металлар иссиқликни энг яхши ўтказувчи деб ҳисобланади, уларда λ

Здан 458 Вт/(мград) гача ўзгаради. Алюминдан ташқари тоза металлнинг ҳароратини ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти камаяди.

Металларда иссиқликни асосан эркин электронлар кўчиради. Иссиқликни энг яхши ўтказадиган металл тоза кумуш ҳисобланади, $\lambda = 458 \text{ Вт/(мград)}$.

Ҳавол таркибга эга бўлган иссиқдан изоляғияланган ва қурилиш ашёларини иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари -ҳароратни ошиши билан чизикли қонун бўйича ўсади ва $0,02$ дан $3,0 \text{ Вт/(мград)}$ оралиғида ўзгаради.

Жисмнинг намлиги иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига катта таъсир қилади. Ашёнинг намлигини ошиши билан иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти анча ошади.

Газларни иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ҳароратни ортиши билан ортади. Газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти $0,005$ дан $0,06 \text{ Вт/(мград)}$ гача ўзгаради. Газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти босимга боғлиқ эмас.

Кўпчилик томчили суюқликларда, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, ҳароратнинг ошиши билан камаяди; уларнинг миқдори $0,08$ дан $0,65 \text{ Вт/(мград)}$ гачи ўзгаради. Сув бундан мустасно, ҳароратни 0°C дан 127° гача оширганда иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ортади, кейинчалик ҳароратни ошишида эса камаяди. Томчили суюқликларни иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти босимга боғлиқ эмас.

Иссиқлик ўтказувчанликни дифференциал тенгламаси.

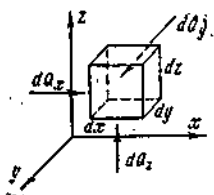
Исталган физик жараёни ўрганиш бу жараёни белгиловчи қийматларнинг ўзаро боғлиқлигини ўрнатиш билан боғлиқ. Иссиқликни узатиш иссиқлик ўтказувчанликка боғлиқ бўлган мураккаб жараёнларда қийматлар аро боғлиқликни ўрнатишда математиковий физикани услубидан фойдаланиш қулай, чунки жараёни кечишини ҳамма ўрганилаётган фазода кўрмасдан, жисмни элементар ҳажмида вақтни жуда кам оралиғида кўради. Иссиқлик ўтказувчанлик бўйича иссиқлик узатишда иштирок этувучи қийматларни ўзаро боғлиқлигини иссиқлик ўзгарувчанликни дифференциал тенгламаси ўрнатади, қабул қилинган элементар ҳажмда ва чексиз вақт оралиғида жараёни белгиловчи айрим қийматларни ўзгаришини ҳисобга олмаслик имкони туғилади.

Иссиқлик узатувчанликнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқаришда қуйдагиларга йўл қўйилади; иссиқликни ички манбаи йўқ; жисм бир жинсли ва изотропли; энергияни сақланиш қонунидан фойдаланилади, кўрилаётган ҳодиса учун "иссиқлик узатувчанлик сабабли элементар параллелипипедга dt вақтда кирган иссиқлик миқдори билан шу вақт оралиғида ундан чиққан иссиқлик миқдорини орасидагп фарқ кўрилаётган элементар ҳажмни ички энергиясини ўзгартиришга сарфланади" деб таърифланади.

Жисмдан қирралари dx, dy, dz бўлган элементар параллелипипедни ажратиб оламиз (14.2-расм). Қирраларининг ҳарорати ҳар хил, шунинг учун x, y, z ўқлари йўналиши бўйича параллелипипед орқали иссиқлик ўтади.

$d\tau$ вақтда $dx dy$ юза орқали фурье тенгламасига мос ҳолда қуйидаги микдордаги иссиқлик ўтади.

$$dQ_{z1} = -\lambda dx dy d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right).$$



14.2-расм.

Қарама-қарши қиррадан dz масофада қуйидаги ифода билан аниқланадиган иссиқлик микдори олинади.

$$dQ_{z2} = -\lambda dx dy d\tau \frac{\partial}{\partial z} \left(t + \frac{\partial t}{\partial z} dz \right),$$

бу ерда $t + \frac{\partial t}{\partial z} dz$ -иккинчи қиррани ҳарорати, $\frac{\partial t}{\partial z} dz$ қиймат эса z ўқи йўналиши бўйича ҳароратни ўзгаришини аниқлайди.

Охирги тенгламани бошқачи кўринишда ёзиш ҳам мумкин:

$$dQ_{z2} = -\lambda dx dy d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right) - \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

z - ўқи йўналиши бўйича параллелипипедда ички энергияни ўсиши қуйидагига тенг.

$$dQ_z = dQ_{z1} + dQ_{z2} = -\lambda dx dy d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right) + \lambda dx dy d\tau \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right) + \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

ёки қисқартирилгандан сўнг

$$dQ_z = \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

y -ўқи йўналиши бўйича параллелипипедда ички энергияни ўсиши келтирилган тенгламага ўхшаш бўлади

$$dQ_y = \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right)$$

x -ўқи бўйича эса

$$dQ_x = \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right)$$

Параллелипипедда ички энергиянинг тўлиқ ўсиши қуйидагига тенг

$$dQ = dQ_x + dQ_y + dQ_z = \lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (a)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан

$$dQ = dx dy dz \rho c \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) d\tau \quad (б)$$

Бу ерда $dx dy dz$ - параллелипипеднинг ҳажми

$dx dy dz \rho$ - параллелепипеднинг массаси;

$\left(\frac{\partial t}{\partial \tau}\right) d\tau$ - вақт бўйича ҳароратни ўзгариши;

а ва б тенгламани чап томони бир бирига тенг шунинг учун

$$\lambda dx dy dz d\tau \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = dx dy dz \rho c \left(\frac{\partial t}{\partial \tau} \right) d\tau,$$

$$\text{ёки } \frac{\partial t}{d\tau} = \left(\frac{\lambda}{\rho c} \right) \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

$\left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$ киймат Лаплас оператори деб аталади ва одатда қисқача

∇^2 (∇ белги «набла» деб ўқилади); $\frac{\lambda}{\rho c}$ ҳарорат ўтказувчанлик коэффиценти деб аталади ва a ҳарфи билан белгиланади.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t \quad (14.10)$$

Бу тенглама иссиқлик ўтказувчанликни дифференциал тенгламаси деб аталади ёки ички иссиқлик манбаи бўлмаган уч ўлчамли ҳарорат майдони кўчувчан (нестандартнхй) бўлгани учун Фурке тенгламаси деб аталади.

Ҳарорат ўтказувчанлик $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ коэффиценти жисмнинг физиковий кўрсаткичи ҳисобланади ва ўлчов бирлиги $m^2/сек$ га эга. Кўчувчи иссиқлик жараёнларда а ҳароратнинг ўзгариш тезлигини билдиради.

Жисмнинг ичида иссиқлик манбаи бўлганда дифференциал тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_g}{\rho c}, \quad (14.11)$$

бу ерда q_g - вақт бирлигида ҳажм бирлигидан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори, $Вт/м^3$;

c - жисмнинг массали иссиқлик сиғими, $Ж/(кг \cdot град)$;

ρ - зичлиги, $кг/м^3$.

Ички иссиқлик манбаи бўлган цилиндрик координаталарда иссиқлик ўзатувчанликни дифференциал тенгламаси куйидаги кўринишга эга.

$$\frac{\partial e}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r} \right) \left(\frac{1}{r} \right) + \left(\frac{1}{r^2} \right) \left(\frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{q_g}{c\rho} \right). \quad (14.12)$$

бу ерда r - цилиндрик тизимли координатнинг радиус вектори; φ - бурчак.

Чеклаш шартлари.

Фуръенинг олинган дифференциал тенгламаси иссиқлик ўзатувчанлик орқали иссиқликнинг узатишни ходисасини умумий ҳолда тасвирлайди. Уни маълум ҳолат учун қўллашда бошланиш вақтидаги ёки бошланғич шароитдаги жисмда ҳароратнинг тақсимланишини билиш керак. Бундан ташқари куйидагилар маълум бўлиши керак: жисмнинг геометрик шакли ва ўлчами,

муҳитни ва жисмнинг физиковий кўрсаткичлари, жисмни сатҳида ҳароратни тақсимланишини ёки нурланаётган жисмга атропо муҳитни таъсирини белгиловчи чеклаш шартлари. Бу ҳамма хусусийликни ўзига ҳослиги дифференциал тенглама билан биргаликда иссиқлик ўтказувчанликни маълум жараёнини тўлиқ тасвирлаб беради ва бу бир хил маъноли шарт ёки чеклаш шартлари деб аталади.

Ҳароратнинг тақсимланишини бошланғич шarti одатда вақт учун $\tau = 0$ бўлади.

Чеклаш шarti учта усул билан берилиши мумкин.

Чеклаш шартини биринчи тури жисмнинг сатҳида (ҳар хил) исталган вақт учун ҳароратни тақсимланиши берилади.

Чеклаш шартини иккинчи тури жисмнинг ҳар бир нуқтасида исталган вақт учун иссиқлик оқимини зичлиги берилади.

Чеклаш шартини учинчи тури жисмнинг ўраб турган муҳитни ҳарорати ва жисмнинг сатҳи билан атропо муҳит орасидаги иссиқлик узатиш қонуни берилади.

Жисмнинг сатҳи билан атропо муҳит орасидаги конвективли иссиқлик алмашиш қонуни жуда мураккаблиги билан фаркланади, ва у фаннинг махсус қисмида кўрилади. Конвективли иссиқлик алмашишни ўрганиш асоси Ньютон-Рихман қонунида берилган.

$$q = a(t_{\text{ж}} - t_{\text{cm}}) \quad (14.13)$$

Бу ерда q -иссиқлик оқимининг зичлиги, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $t_{\text{ж}}$ -аттропо муҳитни ҳарорати (суюқликни), $^{\circ}\text{C}$; α -пропорционал коэффициент, иссиқлик узатиш коэффициент деб аталади, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{град})$.

Иссиқлик узатиш коэффициент жисмнинг сатҳи билан атропо муҳит орасидаги иссиқлик алмашишнинг жадаллигини белгилайди. Жисмнинг сатҳини ҳарорати билан атропо муҳит ҳароратидаги фарқи 1°C бўлганда сатҳ бирлигидан вақт бирлигида узатилган (ёки қабул қилинган) иссиқлик миқдорига сон жихатидан тенг.

Бир қатламли текис девор орқали
иссиқлик ўтказувчанлик.

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси вақтга ва координатга боғлиқ бўлган майдонинг исталган нуқтасини ҳароратини аниқлашга имкон беради. Маълум аниқ ҳол учун керакли чеклаш шартларини келтириш керак.

Узунлиги ва кенглиги, қалинлиги δ бўлган қийматидан чексиз катта бўлган бир қатламли текис девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик ҳолатини кўрамыз. (14.3-расм).

Деворнинг ҳамма қисми бир хил қалинликка эга, сатҳларининг ҳарорати t'_{cm} ва t''_{cm} лар бир хил ушлаб турилади, яъни изотермали сатҳ ҳисобланади. Ўқи x деб қабул қилинган деворининг текислигига тик йўналиш бўйича ҳарорат ўзгаради. Ҳамма деворлар учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффициент λ узгармас. Кўзгалмас иссиқлик режимида жисмнинг барча нуқталарида ҳарорат

узгармас ва вақтга боғлиқ эмас, яъни $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$. Шу ҳолда иссиқлик ўтказувчанликни дифференциал тенгламаси, ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти қисқартирилгандан сўнг қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Қабул қилинган шартга асосан ҳарорат t дан y ва z йўналиши бўйича биринчи ва иккинчи ҳосила ҳам нолга тенг:

$$\frac{\partial t}{\partial y} = \frac{\partial t}{\partial z} = 0 \quad \text{ва} \quad \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0,$$

Шунинг учун иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (14.14)$$

(14.14) тенгламани интеграллаб қуйидагини оламиз

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \text{const} = A$$

Иккинчи марта интеграллаб қуйидагини оламиз

$$t = Ax + B$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ўзгармас бўлганда бу ифода тўғри чизикнинг тенгламаси бўлади. Демак ҳароратни ўзгариш қонуни, иссиқлик текис девор орқали ўтганда, чизикли бўлади.

Интеграллаш доимийлиги A ва B ни аниқлаймиз $x=0$ бўлганда ҳарорат $t = t'_{cm} = B$ бўлади; $x = \delta$ бўлганда ҳарорат $t = t''_{cm} = A\delta + t'_{cm}$ бундан

$$A = \frac{t''_{cm} - t'_{cm}}{\delta} = \frac{dt}{dx}.$$

Иссиқлик оқимиш зичлигини аниқлаймиз.

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

$$q = \left(\frac{\lambda}{\delta} \right) (t'_{cm} - t''_{cm}) \quad (14.15),$$

Солиштирма иссиқлик оқимини билган ҳолда, τ вақт оралиғида деворнинг F сатхи орқали ўтаётган иссиқликни умумий миқдорини ҳисоблаш мумкин.

$$Q = \left(\frac{\lambda}{\delta} \right) [F(t'_{cm} - t''_{cm})\tau] \quad (14.16)$$

Текис деворни иссиқлик ўтказувчанлиги орқали берилаётган иссиқлик миқдори деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти F λ га, деворнинг юзаси F га, вақт оралиғи τ га, деворнинг ташқи сатхларининг ҳароратларини фарқига тўғри пропорционалда ва деворнинг калинлиги δ га тескари пропорционалда. Иссиқлик оқими ҳароратнинг абсолют қийматига боғлиқ бўлмайди, уларнинг фарқи $t'_{cm} - t''_{cm}$ га боғлиқ бу фарқ ҳарорат босими деб аталади.

Олинган (14.15) тенглама иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти

ўзгармас миқдорда бўлган ҳолдагига туғри ҳисобланади. Ҳақиқатда реал жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ҳароратга боғлиқ ва ҳароратни ўзгариш қонуни эгри чизиқ билан тасвирланади. Агарда иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ҳароратга озгина даражада боғлиқ бўлса, амалиётда ҳароратнинг ўзгариш қонунини чизиқли деб ҳисоблайдилар.

(14.15) тенгламани Фурке қонунидан ҳам олиш мумкин, ҳарорат факат x ўқи йўналиши бўйича ўзгаради деб

$$Q = -\lambda F \left(\frac{dt}{dx} \right).$$

Тенгламани ўзгарувчи миқдорга бўлиб, қўйидагини оламиз.

$$dt = -\lambda \left(\frac{Q}{\lambda F} \right) dx.$$

$Q = \text{const}$ бўлган ҳолда тенгламани интеграллаб, ҳароратни топамиз.

$$t = -\left(\frac{Q}{F\lambda} \right) x + c.$$

Интеграллаш доимийлиги c ни чеклаш шартидан аниқлаймиз:

$$x = 0 \text{ бўлганда } t = t'_{cm} = c$$

$$x = \delta \text{ бўлганда } t = t''_{cm} = \left(\frac{Q}{\lambda F} \right) \delta + t'_{cm} \text{ бундан}$$

$$Q = \left(\frac{\lambda}{\delta} \right) [F(t'_{cm} - t''_{cm})].$$

(14.15) - тенгламадаги λ ни t га. боғлиқликни чизиқли деб ҳисоблаб, бу боғлиқликка тўғрилаш киратамиз.

$$\lambda = \lambda_0 (1 + bt) \quad (a)$$

Бу ҳолат учун Фурке тенгламасидаги λ ни ўрнига унинг қийматини қўйиб, қўйидагини оламиз.

$$q = -\lambda(t) dt / dx = \lambda_0 (1 + bt) dt / dx \quad (б)$$

Ўзгарувчини бўлиб ва интеграллаб қўйидагини оламиз.

$$qx = -\lambda_0 \left(t + \frac{bt^2}{2} + c \right) \quad (в)$$

Ўзгарувчанни чеклаш қийматларида эга бўламиз

$$x = 0 \text{ бўлганда } t = t'_{cm} \text{ ва } 0 = -\lambda_0 \left(t'_{cm} + \frac{bt'^2_{cm}}{2} + c \right) \quad (г)$$

$$x = \delta \text{ бўлганда } t = t''_{cm} \text{ ва } q\delta = -\lambda_0 \left(t''_{cm} + \frac{bt''^2_{cm}}{2} + c \right) \quad (д)$$

(д) тенгламадан (г) тенгламани айириб, қўйидагини оламиз

$$q = (\lambda_0 / \delta) [1 + b(t'_{cm} + t''_{cm}) / 2] (t'_{cm} - t''_{cm}) \quad (14.17)$$

Олинган (14.17) тенглама иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти ўзгарувчан бўлганда иссиқлик оқимини зичлигини аниқлашга имкон беради. Бу тенгламадаги кўпайтувчи.

$$\lambda_0 [1 + b(t'_{cm} + t''_{cm}) / 2]$$

Иссиқлик ўзгарувчанлик коэффиценти ўртача интеграл миқдори

ҳисобланади.

(14.15) тенгламада $\lambda = \text{const}$ ва ўртача қиймати λ_{cp} га тенг деб қабул қилинган эди. Шунинг учун (14.16) ва (14.17) таққослаб қуйидагини оламиз.

$$\lambda_{cp} = \lambda_0 [1 + b(t'_{cm} - t''_{cm})/2] \quad (14.18)$$

Агарда λ_{cp} ўртача интеграл $t_{cpm} = (t'_{cm} + t''_{cm})/2$ ҳароратда аниқланса, у ҳолда (14.15) ва (14.17) ифодаalar тенг қийматли бўлади.

Бу ҳолда иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади.

$$q = (\lambda_{cp} / \delta)(t'_{cm} - t''_{cm}) \quad (14.19)$$

(в) квадрат тенгламани I га нисбатан ечиш ва (г) тенгламадан C ни микдорини ўрнига қўйиш билан девордаги ҳарорат эгри чизигини тенгламаси олинади.

$$t_x = \sqrt{\left(\frac{1}{b} + t'_{cm}\right)^2 - 2qx/(\lambda_0 / \delta)} - \frac{1}{b} \quad (14.20)$$

Ушбу тенгламадан кўриниб турибтики, деворни ичида ҳарорат эгри чизик бўйича ўзгаради. Агарда b коэффициент манфий бўлса, эгри чизикни эгилиши пастга қарайди; агарда b мусбат бўлса, чизикни эгилиши юқорига йўналган бўлади.

Кўп қатламли текис девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик.

Иссиқлик аппаратларида девори бир нечта текис қатламли турли ашёлардан ташкил топгани кўпроқ учрайди. Деворнинг ташкил этувчи қатламлари бир-бирига жипс тегиб туради деб ҳисоблаб унинг тенгламасини келтириб чиқамиз.

Ўзгармас ҳолатда мураккаб деворни иссиқлик узатувчанлик ифодасини бир ҳил таркибли бўлмаган деворни изотермли ҳамма сатҳи орқали ўтаётган иссиқлик оқимини бир ҳил деб ҳисоблаб алоҳида қатламлар тенгламасидан келтириб чиқариш мумкин.

Бу масалани ечиш учун ҳар бир қатламнинг қалинлиги δ_1, δ_2 ва δ_1 уларнинг иссиқлик ўтказувчан коэффициентлари $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ бўлган уч қатламли деворни кўриб чиқамиз (14.4-расм). Деворнинг ташқи сатҳларининг ҳарорати t'_{cm}, t''_{cm} ; қатламлари орасидаги ҳарорат t'_{cl} ва t''_{cl} .

Деворнинг ҳар бир қатлами учун иссиқлик оқими қуйидагича аниқланади

$$Q = (\lambda_1 / \delta_1) F(t'_{cm} - t'_{cl}); \quad Q = (\lambda_2 / \delta_2) F(t'_{cl} - t''_{cl}); \\ Q = (\lambda_3 / \delta_3) F(t''_{cl} - t''_{cm}).$$

Бу тенгламаларни ҳароратларини фарқига нисбатан ечиб ва уларни қўйиб қуйидагини оламиз.

$$t'_{cm} - t'_{cl} = (Q / F)(\delta_1 / \lambda_1); \quad t'_{cl} - t''_{cl} = (Q / F)(\delta_2 / \lambda_2); \\ t''_{cl} - t''_{cm} = (Q / F)(\delta_3 / \lambda_3); \quad t'_{cm} - t''_{cm} = (Q / F)(\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3), \\ \text{бундан } Q = [F(t'_{cm} - t''_{cm})] / (\delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3) \quad (14.21)$$

$$\text{ёки исталган қатлам сонли учун } Q = F[(t'_{cm} - t''_{cm})] / \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i \quad (14.22)$$

δ / λ нисбати қатламни термик қаршилиги деб аталади, $\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i$ қиймат-кўп қатламли текис деворнинг тўлиқ термик қаршилиги.

Баъзан кўп қатламли текис деворни бир жинсли ҳисоблаб, (14-22) тенгламага иссиқлик ўтказувчанликни эквивалент $\lambda_{\text{ЭК}}$ коэффициентини киритиб ҳисоблайдилар.

$$Q = [\lambda_{\text{ЭК}} F (t'_{\text{cm}} - t''_{\text{cm}})] / \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i. \quad (14.23)$$

(14.22)-тенглама билан (14.23) - тенгламани тенглаштириб қуйидагини оламиз.

$$\lambda_{\text{ЭК}} = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i \right) / \left(\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i \right) \quad (14.24)$$

Кўп қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик эквивалентли коэффициентини шундан сатҳ ҳароратига ва иссиқлик оқимини ўтказишга эга бўлган, шундан қалинликдаги бир жинсли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентига тенг.

$\lambda_{\text{ЭК}}$ нинг микдори термик қаршиликка ва қатламларнинг қалинлигига боғлиқ.

Мураккаб деворнинг қатламлари орасидаги ҳарорат қуйидагига тенг, $^{\circ}\text{C}$ да.

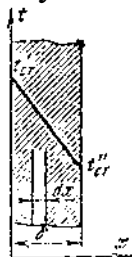
$$\begin{aligned} t'_{\text{cl}} &= t'_{\text{cm}} - (Q/F)(\delta_1/\lambda_1); & t'_{\text{cl}} &= t''_{\text{cl}} - (Q/F)(\delta_2/\lambda_2); \\ t''_{\text{cl}} &= t''_{\text{cl}} - (Q/F)(\delta_3/\lambda_3); & \text{ва б} & (14.25) \end{aligned}$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ўзгармас бўлганда ҳарорат деворнинг ҳар бир қатламида чизикли қонун бўйича ўзгаради, кўп қаватли текис деворда эса ҳарорат графиги синган чизик кўринишида бўлади.

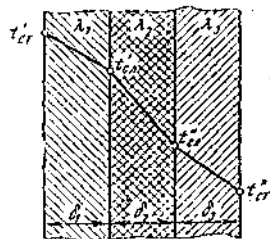
Бир қатламли цилиндрсимон девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик.

Тўғри цилиндр симон қувурларнинг ташқари ва ички деворлари ўзгармас t'_{cm} ва t''_{cm} ҳароратларда ушлаб турилади. Қувур билан умумий ўқига эга бўлган цилиндрлик сатҳ изотермикли сатҳ ҳисобланади. Ҳарорат фақат радиус йўналиши бўйича ўзгаради, шу сабабли иссиқлик оқими ҳам радиус йўналшича бўлади. Қувур чексиз узунликка эга. Бу ҳолатда ҳарорат майдони бир ўлчамли бўлади: $t = f(r)$, бу ерда r -цилиндрлик координатаси.

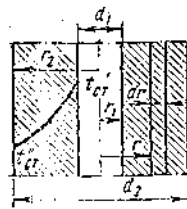
Қувурнинг сатҳида ҳарорат текис тақсимланмаган ҳолати бўлса бунда ҳарорат майдони бир ўлчамли бўлмайди ва келтирилган тенглама бу ҳол учун ҳақиқий бўлмайди.



14.3-расм.



14.4-расм.



14.5-расм.

14.5-расмда иссиқлик оқими радиал йўналишда бўлган қувур тасвирланган. Узунлиги l бўлган қувурни бир қисмини оламиз. Қувурнинг ўқидан r масофада жойлашган F сатҳини юзи $2\pi r l$ га тенг. Ички сатҳининг ҳарорати t'_{cm} га ва ташқи сатҳини ҳарорати t''_{cm} га тенг. Сатх орқали бир хил ўзгармас иссиқлик оқими ўтади.

Деворнинг ичидан радиуси r ва қалинлиги dr бўлган ҳалқа ажратамиз. Унда, иссиқлик оқими ўтаётган сатҳини бир хил деб қараб ва бу элементар қатламни текис девор деб кўриш керак. Сатхларнинг орасидаги ҳароратнинг фарқи ҳам чексиз кичик бўлиб, dt га тенг бўлади. Фурке қонунига асосан

$$Q = -\lambda F l (dt / dr),$$

ёки ҳалқа қатлам учун

$$Q = -\lambda 2\pi r l (dt / dr).$$

ўзгарувчанларни ажратиб, қуйидагини оламиз

$$dt = -(Q / 2\pi r l)(dr / r). \quad (a)$$

(a) тенгламасини t'_{cm} дан t''_{cm} гача ва r_1 дан r_2 гача, $\lambda = \text{const}$ бўлганда интеграллаб қуйидагини оламиз

$$\int_{t''_{cm}}^{t'_{cm}} dt = - \int_{r_2}^{r_1} (Q / 2\pi \lambda l)(dr / r),$$

$$t'_{cm} - t''_{cm} = (Q / 2\pi \lambda l) \ln(r_2 / r_1)$$

$$\text{бундан } Q = l(t'_{cm} - t''_{cm}) / (1 / 2\pi \lambda) \ln(d_2 / d_1) \quad (14.26)$$

Тенгламадан кўриниб турибтики цилиндрик қувурнинг деворида ҳароратни тақсимланиши лагорифли эгри чизик кўринишига эга эканлигини кўрсатади. Цилиндрик девор орқали ўтадиган иссиқлик оқими берилган чеклаш шартлари билан аниқланади ва ташқи диаметрини ички диаметрига бўлган нисбатига боғлиқ.

Иссиқлик оқими қувурнинг узунлиги q_e ва 1 м^2 ички ёки ташқи сатҳи q_1 ва q_2 бирлигига келтирилган бўлиши мумкин. Унда ҳисоблаш ифодаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$q_e = Q / l = 2\pi \lambda (t'_{cm} - t''_{cm}) / \ln(d_2 / d_1) \quad (14.27)$$

$$q_1 = Q / \pi d_1 l = 2\lambda (t'_{cm} - t''_{cm}) / (d_1 \ln(d_2 / d_1)) \quad (14.28)$$

$$q_2 = Q / \pi d_2 l = 2\lambda (t'_{cm} - t''_{cm}) / (d_2 \ln(d_1 / d_2)) \quad (14.29)$$

Кўп қатламли цилиндрик девор
орқали иссиқлик ўтказувчанлик.

Цилиндрик девор бир бирига зич тегиб турган уч қатламдан иборат деб тахмин қиламиз. Деворнинг ички сатҳини ҳарорати t'_{cm} ташқарисининг t''_{cm} ; қатламларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; қатламларнинг диаметрлари d_1, d_2, d_3, d_4 . Деворнинг ҳар бирини қатламининг ҳарорати лагорифмик эгри чизик бўйича ўзгаради. Ҳароратнинг умумий эгри чизиғи синган логарифмик чизикни ташқил этади. Ҳарорат майдони ўзгармас бўлган режимда (стағионар) ҳамма қатламлар орқали бир хил микдордаги иссиқлик оқими ўтади. Ҳар бир қатлам учун иссиқлик оқими қуйидагига тенг бўлади.

$$Q = 2\pi\lambda_1 l(t'_{cm} - t''_{cl}) / \ln(d_2 / d_1);$$

$$Q = 2\pi\lambda_2 l(t'_{cl} - t''_{cl}) / \ln(d_3 / d_2);$$

$$Q = 2\pi\lambda_3 l(t'_{cl} - t''_{cm}) / \ln(d_4 / d_3).$$

Ҳосил бўлган тенгламани ҳароратлар фарқиға нисбатан ечиб ва уларни қўшиб қуйидагиларни оламиз.

$$+ \begin{cases} t'_{cm} - t''_{cl} = (Q / 2\pi\lambda_1 l) / \ln(d_2 / d_1) \\ t'_{cl} - t''_{cl} = (Q / 2\pi\lambda_2 l) / \ln(d_3 / d_2) \\ t'_{cl} - t''_{cm} = (Q / 2\pi\lambda_3 l) / \ln(d_4 / d_3) \end{cases}$$

$$t'_{cm} - t''_{cm} = (Q / 2\pi l) [(1/\lambda_1) \ln(d_2 / d_1) + (1/\lambda_2) \ln(d_3 / d_2) + (1/\lambda_3) \ln(d_4 / d_3)],$$

бундан

$$Q = 2\pi l(t'_{cm} - t''_{cm}) [(1/\lambda_1) \ln(d_2 / d_1) + (1/\lambda_2) \ln(d_3 / d_2) + (1/\lambda_3) \ln(d_4 / d_3)]$$

n - қатламга эга бўлган цилиндрик девор учун

$$Q = 2\pi l(t'_{cm} - t''_{cm}) / \sum_{i=1}^{i=n} (1/\lambda_i) \ln(d_{i+1} / d_i) \quad (14.31)$$

Иссиқлик оқими тенгламаси (14.31) га эквивалент коэффициентини киритиб қуйидагини оламиз.

$$Q = 2\pi\lambda_{\text{ЭК}}(t'_{cm} - t''_{cm}) / \sum \ln(d_{i+1} / d_i) \quad (14.32)$$

Цилиндрик девор учун, эквивалент коэффициентини қиймати, текис деворга ўхшаб аниқланади.

$$\lambda_{\text{ЭК}} = \sum \ln(d_{i+1} / d_i) / \left[\sum_{i=1}^{i=n} (1/\lambda_i) \ln(d_{i+1} / d_i) \right] \quad (14.33)$$

Қатламлар орасидаги Ҳарорат қуйидаги тенгламалар орқали аниқланади

$$\left. \begin{aligned} t'_{cl} &= t'_{cm} - (Q / 2\pi\lambda_1 l) \ln(d_2 / d_1) \\ t''_{cl} &= t'_{cl} - (Q / 2\pi\lambda_2 l) \ln(d_3 / d_2) \end{aligned} \right\} \quad (14.34)$$

Шарсимон девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик.

Иссиқлик манбан шарни ичида жойлашганда ўзгармас иссиқлик оқими шарсимон девор орқали йўналган. Ҳарорат фақат радиус йўналиши бўйича ўзгаради. Изотермикли сатх концентрик шарсимон сатх кўринишига эга. Ички сатхини ҳарорати t'_{cm} , ташқи сатхини ҳарорати t''_{cm} иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ - ўзгармас қийматга эга. Шарнинг ички радиуси r_1 , r_2 шарнинг ташқи радиуси.

Радиуси r_l қалинлиги dr бўлган шарсимон қатламдан ўтаётган иссиқлик оқимини Фурке тенгламасидан аниқлаймиз:

$$Q = -\lambda F(dt / dr) = -\lambda 4\pi r^2 (dt / dr), \quad \text{ёки} \quad dt = -(Q / 4\pi\lambda)(dr / r^2)$$

Охирги тенгламани t ва r бўйича интеграллаб, чеклаш шароити $r = r_1 t = t'_{cm}$, $r = r_2 t = t''_{cm}$ бўлганда интеграллашни доимийлигини аниқлаб қуйидагини оламиз.

$$Q = 4\pi\lambda(t'_{cm} - t''_{cm}) / (1/r_1 - 1/r_2) = 2\pi\lambda(t'_{cm} - t''_{cm}) / (1/d_1 - 1/d_2) \quad (14.35)$$

14-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Ҳарорат майдони деб нимага айтилади?

2. Ҳарорат градиенти деб нима айтилади?
3. Фурқе қонуни.
4. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти деб нимага айтилади?
5. Иссиқлик оқимини зичлиги деб нимага айтилади?
6. Иссиқлик оқими деб нимага айтилади?
7. Ҳарорат ўтказувчанлик коэффиценти қандай аниқланади?
8. Чекка шартлар деб нимага айтилади?

Адабиётлар.

1. 272...278 бетлар.
2. 80...94 бетлар.
3. 315...336 бетлар.
5. 52...56 бетлар.
6. 236...246 бетлар.

15-мавзу, 13-март, 2-соат.

Қўриладиган масалалар.

1. Асосий тушунчалар ва аниқликлар.
2. Нютон-Рихман тенгламаси.
3. Иссиқлик узатиш коэффиценти.
4. Иссиқлик алмашиш дифференциал тенгламаси.
5. Ўхшашлик назарияси асослари.
6. Физик ходисанинг ўхшашлик шarti.
7. Ўхшашлик сонлари.
8. Моделлаш усуллари.
8. Математиквий моделлаш тўғрисида тушунча.

Таянч сўз ва иборалар.

Оқим тенгламаси; ўхшашлик назарияси; ўхшашлик шarti; ўхшашлик сонлари; моделлаш усуллари.

Конвективли иссиқлик алмашиш.

Конвекция газларда ва суюқликларда содир бўлади, иссиқликнинг қўчириш жисмнинг ҳажмида фазода аралашуш билан амалга оширилади. Конвекция орқали иссиқликни узатиш ҳар доим иссиқлик узатувчанлик билан боғланган. Конвекция билан иссиқлик узатувчанлик биргаликда содир-энтан жараён конвективли иссиқлик, алмашиш деб аталади.

Конвекция мажбурий (суюқликни ҳаракати сунъий ташкил этилади) ва эркин, бунда жисмни исиши ва зичлигини ўзгариши сабабли содир бўлади.

1884 йили О.Рейнольдс ўзининг тажрибалари натижасида, суюқликнинг ҳарорати турли қонунга бўйсинадиган икки оқимни учрашини кўрди. Оқимнинг биринчи турида ҳамма заррачалар фақат тректориялари ўзаро параллел бўлган ҳолда ҳаракатланади ва уларнинг ҳаракати узок вақтгача оқимнинг ҳаракат йўналиши билан мос келади. Суюқлик тинч, бир бирига урилмасдан оқим ҳосил қилиб, канални шакли бўйича ҳаракатланади. Ҳаракатнинг бундай тури Ламинар ҳаракат деб аталади. Турбулент деб аталадиган оқимни иккинчи турида суюқликнинг ҳамма қатламини аралашуши кузатилади. Оқимнинг ҳар бир заррачаси маълум тезликда канал бўйича

силжишда канал деворига перпендикуляр ҳолатда турлича ҳаракат қилади. Бунинг натижасида оқим тартибсиз равишда ҳаракат қилади. Бир бирига урилиши ва уярма қанча кўп бўлса оқимнинг турбулентлилиги шунча кўп бўлади. Ламинар оқимни турбулент оқимига ўтишда каналдаги ишқаланиш қаршилиги ортади.

О.Рейнолдсн кўрсатишича суяқликни думалоқ қувурда оқимини кўриниши $\omega d / \nu$ нисбатни миқдори билан аниқланади, бу нисбат Рейнолдс сони деб аталади ва R_e ҳарфи билан белгиланади.

$$R_e = \omega d / \nu \quad (15.1)$$

бу ерда ω - суяқликни ўртача тезлиги, м/сек; d - қувурнинг диаметри, м; ν - суяқликни кинематик ёнишқоқлиги, $m^2 / сек$.

Ихтиёрли кесимли канал учун эквивалент диаметр ($d_{эқв}$ тушунчаси киритилади ва тенгламага кўйилади. $R_e = 2000$ миқдоргача эга бўлганда қувурдаги суяқликни оқими Ламинар бўлади. Киймати юқори бўлганда оқим турбулентликка ўтади.

Оқимнинг ҳаракатини кўриниши иссиқлик узатишни жадаллилигига таъсир қилади. Ламинар режим бўлганда ва табиий конвекция бўлмаганда иссиқлик фақат иссиқлик ўтказувчанлик орқали узатилади. Бу узатилаётган иссиқликнинг миқдори суяқликни физик хусусиятига, геометрик ўлчамларига, каналнинг сатҳини шаклига боғлиқ оқимнинг тезлигига боғлиқ эмас.

Суяқликни турбулентли ҳаракатида иссиқлик ўтказиш иссиқлик ўтказувчанлик билан биргаликда заррачаларни аралашиши орқали амалга оширилади.

Конвективли иссиқлик алмашишда иссиқлик оқими деворнинг сатҳига ва суяқлик ва деворининг ҳароратларини фарқига тўғри пропорционалда. Иссиқлик оқими Нкютон-Рихман тенгласи орқали аниқланади.

$$Q = \alpha F (t_{ж} - t_{cm}), \quad (15.2)$$

бу ерда F - иссиқлик ўзатаётган сатҳнинг юзаси, m^2 ; $t_{ж}$ - иситадиган (суяқликни) жисмни ҳарорати, $^{\circ}C$; t_{cm} - иситилаётган (деворни) жисмни ҳарорати, $^{\circ}C$; $t_{ж} - t_{cm}$ - ҳароратлар фарқи, $^{\circ}C$; α - иссиқлик узатиш коэффициент, $Вт/м^2 ^{\circ}C$.

Иссиқлик узатиш коэффициентига турли омиллар таъсир қилади: суяқликнинг оқимини тезлиги, уни ҳаракатга келтирадиган кучни кўриниши, суяқликнинг физиковий хусусиятлари (зичлиги, қовушқоқлиги, иссиқлик ўтказувчанлиги) ва суяқликнинг оқиш режими.

Умуман олганда иссиқлик узатиш коэффициенти қуйидагиларнинг функцияси ҳисобланади.

$$\alpha = f(\omega, \lambda, \mu, \rho, c, x, t_{ж}, t_{cm}, \Delta t, \phi, l_1, l_2, l_3 \dots) \quad (15.3).$$

бу ерда x - суяқликни ҳаракатини кўриниши; ϕ - деворнинг шакли; l_1, l_2, l_3 - сатҳининг ўлчами.

Иссиқлик узатиш коэффициенти мураккаб миқдор бўлиб, унинг аниқлаш учун умумий ифода бериш мумкин эмас, шунинг учун иссиқлик узатиш коэффициенти тажрибалар орқали аниқланади.

Ўхшашлик назарияси асослари.

Иссиқлик узатиш коэффицентини назарий усул билан аниқлаш жуда қийин, кўп ҳолларда умуман мумкин эмас, яъни конвективли алмашишига кўп омиллар таъсир қилиши учун. Шунинг учун бу коэффицент тажрибалар орқали аниқланади. Бундай тажрибаларни тўғридан тўғри саноат қурилмаларида ўтказиш мумкин (буғ қозонлари, иситгичлар, экономайзерлар ва б.). Саноат қурилмалари катта ўлчамли, ўзининг тузилиши бўйича мураккаб бўлганлиги учун тажриба орқали иссиқлик узатиш коэффицентини аниқлаш усули кам қўлланилади. Шунинг учун конвективли иссиқлик алмашиш тадқиқотлари ўлчами кичик бўлган моделларида ўтказилади ва натижалари саноат қурилмаларига ўтказилади. Бунинг учун моделдаги жараёнлар саноат қурилмаларидаги жараёнларга ўхшаши керак. Ўхшаш жараёнлар шароитини ташкил этишни ўхшашлар назарияси кўрсатади. Миқдорий жихатидан боғлиқлигини аниқлаш учун замонавий илимда кенг қўлланиладиган иккинчи услуб, бу математиковий ва назарий физиковий услублардур. Фурқени иссиқлик узатувчанлик коэффицентини дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш мисол бўлиши мумкин.

$$(\partial t / \partial \tau = \alpha \nabla^2 t).$$

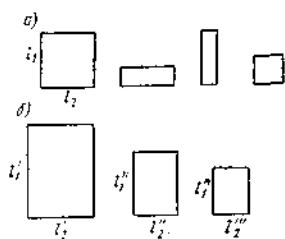
Исталган дифференциал тенглама (ёки тенгламалар тизими) ҳодисаларнинг математик модели бўлиши мумкин.

Кўп ечимлардан бирор хусусий ечимини олиш учун умумий ҳодисадан ажралиб турадиган айрим ҳодисанинг ўзига ҳос кўрсаткичларини билиш керак. Бу қўшимча шарт дифференциал тенглама билан биргаликда ягона ҳодисани бир ҳил маънода аниқлайди (белгилайди). Бу шарт бир ҳил маънолик шарт деб аталади.

Бир ҳил маънолик шарти ўзининг қуйидаги якка бегилари билан умумий ҳодисадан ўзига хослигини ажратиб туради. 1) жисмни ёки тизимни шакли ва ўлчамларини белгилайдиган геометрик шарт; 2) кўрилаётган тизимни эгаллаган жисмнинг физиковий шарти; 3) тизимни атроф муҳит билан боғлиқлигини белгилайдиган чегаравий шартлар, яъни жисмнинг атрофида жараённинг кечишини билиш; 4) тизимни бутун ҳажми бўйича жараённинг кечишини бошланишини белгилайдиган вақтинчалик шарт. Кўп ҳолларда конвективли иссиқлик алмашиш ҳодисасини мураккаблиги сабабли, кўрилаётган масалани ечимини ечилишини аниқлашда дифференциал тенгламани ва бир ҳил маънолик шартини қониқтириш мумкин эмас.

Агарда тадқиқотни математиковий ва тажриба услубларини афзал томонларини бирлаштириб, табиатни турли ходисаларини ўрганиш учун универсал аппаратларни олиш мумкин. Икки усулни бундай бирлаштириш ўхшашлик назарияси орқали амалга оширилади. Жараёнларнинг ўхшашлик асосида, уларнинг геометрик ўхшағалиги ётади. Физик қийматлардан ташкил топган ўлчамсиз мажмуаларни тенглиги ҳам шартланади, яъни окимпимг тезлиги, қовушқоқлиги ва зичлиги, деворнинг ва суюқликнинг ҳарорати ва бошқалар. Бундай ўлчамсиз мажмуалар ўхшашлик сонлари (меъёрлари) деб аталади.

Ҳодисалар гуруҳининг тасвирлаш усулини геометрик шаклларда тушунтириш мумкин.



15.1-расмда турли тўртбурчаклар тасвирланган.

Туғри тўртбурчак тушунчаси умумий хусусияти бирлашган текис шакллар классини аниқлайди. Шаклларни умумийсидан бир шаклни ажратиш учун бир ҳиллик маънога эга бўлган томонлари l_1 ва l_2 ни сонли миқдорини бериш керак (15.1а-расм). Шунга ўхшаш шаклни томонларини K_e миқдорга кўпайтириш орқали олиш мумкин бунда бир бирига ўхшаш бир қатор шаклларни олиш мумкин, чунки уларни томонлари пропорционал:

$$l_1''/l_1' = l_2''/l_2' = \kappa_e.$$

K_e - ни миқдори ўзгартириш кўпайтирувчиси ёки ўхшашлик константаси деб аталади. Бундай усулдаги ўзгартиришларни ўхшашлик деб аталади.

Ўхшашлик сонлари.

Ўхшашлик сонларига (меъёрига) иссиқлик техникаси ва гидродинамика соҳасида катта ишлар қилган олимларнинг номлари қўйилган.

Нусселт сони (Nu) девор билан суюқлик чегарасида иссиқлик алмашишни жадаллилигини аниқлайди

$$Nu = \alpha l_0 / \lambda \quad (15.4)$$

бу ерда α -иссиқлик узатиш коэффициенти, $Wm/(m^2K)$;

λ - суюқликнинг иссиқлик узатувчанлиги, $Wm/(mK)$;

l_0 - чизиқли ўлчамини аниқловчи, м.

Иссиқлик алмашиш жараёнини ривожланишини белгилайдиган ўлчам аниқлайдиган (белгилайдиган) ўлчам деб аталади.

Рейнолдс сони (Re) суюқликнинг ҳаракатини кўринишини белгилайди.

$$Re = W_0 l_0 / \nu, \quad (15.5)$$

бу ерда W_0 - суюқликнинг ўртача тезлиги, м/с;

ν - суюқликнинг кинематик қовушқоқлиги, m^2/s .

Суюқликнинг ҳаракати ламинар бўлса Рейнолдс сони 2320 дан кам бўлади ($Re < 2320$), $Re < 10000$ бўлса суюқликнинг ҳаракати турбулент деб ҳисобланади. Рейнолдс сони 2320дан 10000 оралиғида бўлса ламинар оқимдан турбулент оқимига ўтиш ҳолатида бўлади.

Прандтл (Pr) сони суюқликни физиковий хусусиятини белгилайди.

$$Pr = \nu / \alpha \quad (15.6)$$

Бу ерда α - суюқликнинг ҳарорат ўтказувчанлиги, m^2/s

Пекл (Pe) сони Рейнолдс сони ўхшашлик сонини Прандтл ўхшашлик сонига кўпайтмаси

$$Pe = Re Pr = W_0 l_0 / \alpha \quad (15.7)$$

Грасгоф (Gr) ўхшашлик сони суюқликнинг иссиқ ва совуқ ҳолатларидаги

зичлигини фарқи натижасидаги кўтариловчи кучини молекуляр ишқаланиш кучига бўлган нисбатини аниқлайди.

$$Gr = \beta g l_0^3 \Delta t / \nu^2 \quad (15.8)$$

бу ерда β - ҳажмий кенгайишнинг ҳароратли коэффициенти, K^{-1} (идеал газ учун $\beta = 1/273,15 \text{ K}^{-1}$); g - эркин тушиш тезланиши, м/с^2 ; Δt - суюқлик билан девор сатхи ҳароратларининг фарқи, $^{\circ}\text{C}$.

15-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Конвективли иссиқлик алмашиш деб нимага айтилади?
2. Суюқлик ҳаракатининг қандай турлари учрайди?
3. Рейнолдс сони.
4. Уҳшашлик сонлари.
5. Иссиқлик узатиш коэффициентига таъсир қилувчи омиллар.
6. Бир ҳил маънолик (қийматлик) шартлар нимани билдиради?
7. Моделлаш деб нимага айтилади?

Адабиётлар.

1. 278...283, 297...339 ва 481..533 бетлар.
2. 94...125 бетлар.
3. 363...385 бетлар.
4. 56...62 бетлар.
5. 246...255 бетлар.

16-мавзу, 14-маъруза, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Умумий тушунча ва аниқликлар.
2. Нурланишли иссиқлик алмашишни иссиқлик баланси.
3. Иссиқликни нурланиш қонунлари.
4. Тиниқ муҳит билан ажратилган жисмларни ўзаро нурланиш орқали иссиқлик алмашиши.
5. Нурланиш коэффициенти.
6. Нурланишдан ҳимоялаш.
7. Газларининг нурланиши.

Таянч сўз ва иборалар.

Нурланиш; нурланиш зичлиги; нурланиш жадаллиги; нурланиш қонунлари; нурланиш коэффициенти; ҳимоялаш.

Нурланишли иссиқлик алмашиш.

Нурланиш энергияси бошқа энергияларнинг молекулали ва ички атомли мураккаб жараёнларининг натижасида содир бўлади. Улар фазода электророманит тўлқинларини тарқалиши кўринишида намоён бўлади. Қизиган жисмнинг ички энергияси иссиқликни нурланиш манбаи бўлиб ҳисобланади. Нурланиш энергиясини миқдори нур тарқатаётган жисмнинг физиковий хусусиятига ва ҳароратига боғлиқ. Электророманит тўлқинлари ўзининг тўлқинини узунлиги ёки тебранишлар частотаси билан ўзаро фарқланади. Агарда тўлқин узунлигини λ_1 , тебраниш частотасини эса N орқали белгиланса, абсолют вакуумда турли кўринишдаги нурни тезлиги $W = \lambda N = 300000 \text{ км/сек}$ тенг бўлади.

Тўлқинининг узунлигига қараб нурлар ҳар қил хусусиятга эга бўлади. Тўлқинининг узунлиги $\lambda = 0,8...40\text{мкм}$ ли бўлган иссиқлик нури иссиқлик узатишда катта аҳамиятга эга бўлади.

Ҳамма жисмлар, агарда уларнинг ҳарорати 0°K га тенг бўлмаса, нур тарқатиш ва энергияни ютиш хусусияга эга.

Жисмнинг ҳарорати бир қил ёки турлича бўлганда уни фазода қандай жойлашганлигидан катъий назар, жисмлар орасида ўзаро узлуксиз нурланишли иссиқлик алмашиши содир бўлади.

Жисмларнинг ҳарорати турғун бўлганда нурланишни берадиган энергиясини миқдори ютиладиган энергиясининг миқдорига тенг бўлади. Кўпчилик қаттиқ ва суюқ жисмларнинг нурланиш спектри узлуксиз бўлади. Бундай жисмлар кичик тўлқиндан катта узунликка эга тўлқингача бўлган ҳамма тўлқинларда нур тарқатади.

Газларнинг нурланиш спектри чизикли кўринишга эга ва улар ҳамма узунликдаги нур тўлқинларини чиқармайди. Бундай нурланиш селективли (танлашли) деб аталади. Газларнинг нурланиши ҳажм кўринишида бўлади.

Ярим сфера фазонинг ҳамма йўналиши бўйича ва ҳамма узунликдаги тўлқинлар спектрида жисмнинг сатхидан нурланишини умумийсини (йиғиндисини) интеграл нурланиш деб аталади.

Сатхнинг бирлигидан ҳамма йўналиш бўйича нурланаётган интеграл нурли оқим жисмнинг интеграл нурланишининг зичлиги деб аталади, $B_{am}/\text{м}^2$.

$$E = dQ / dF,$$

бу ерда $dQ-dF$ сатх элементи чиқараётган нурланишни элементар оқими.

Ҳар бир жисм фақат нур чиқариш қобилиятига эга бўлиб қолмасдан, бошқа жисмдан тушаётган нурни қайтариши, ютиши ва ўзидан ўтказиши мумкин. Агарда жисмга тушаётган нурланиш энергиясини умумий миқдорини Q , жисм ютадиган миқдорини A , қайтарадиган миқдорини R , жисмдан ўтадиган миқдорини D деб белгилайсак. Бу ҳолда қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин.

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D \text{ ёки } A + R + D = 1$$

A -миқдорини ютувчанлик қобилияти дсб аталади. Бу миқдор нурланиш энергиясини миқдорини жисмга тушган нурланиш энергиясини умумийсига бўлган нисбатини кўрсатади. R - миқдорини қайтарувчанлик қобилияти деб аталади. Бу қиймат қайтарилган энергия миқдорини жисмга тушган энергиянинг ҳаммасига бўлган нисбатни кўрсатади. D - миқдор ўтказувчанлик қобилияти деб аталади. D қиймат жисмдан ўтган нурланиш энергиясини ҳаммасига бўлган нисбатни кўрсатади. Агарда жисм ўзидан нурланиш энергиясини ўтказмаса унда $A+R=1$ бўлади. Агарда жисм нурланиш эгергиясини ҳаммасини ютиб юборса, яъни $R=0$ ва $D=0$ бўлса $A=1$ га тенг бўлади. Агарда жисмни сатхи нурланиш энергиясини ҳаммасини қайтариб юборса, яъни $A=0$, $D=0$ бўлса $R=1$ бўлади. Агарда жисм иссиқлик нури учун абсолют тиниқ бўлса, яъни $R=0$, $A=0$ бўлса $D=1$ бўлади.

Агарда жисмнинг сатхи тўғри қайтарса, бундай сатҳини ойнадек тиниқ (зеркалкной) сатх деб аталади. Агарда жисм сатхига тушаётган нур сочилиб турли йўналиш бўйича қайтса бундай қайтаришни диффузион қайтариш деб

аталади.

Абсолют қора жисмдан чиқаётган нурланиш энергиясини алоҳида тўлқин спектрини узунлиги бўйича тақсимланиши нурланиш оқимини тадқиқот қилишда катта аҳамиятга эга. Нурнинг ҳар-бир тўлқинининг узунлигига маълум ҳароратда маълум нурланиши жадаллилиги мос келади. Кўрилаётган тўлқин узунлиги оралиғи $d\lambda$ га тўғри келадиган λ дан $\lambda + \Delta\lambda$ гача тўлқин узунлиги учун жисмни нурланиш оқимини зичлиги нурланиш жадаллилиги ёки нурланиш спектрал жадаллилиги деб аталади.

$$J_{s\lambda} = dF_{s\lambda} / d\lambda, \quad (16.1)$$

бу ерда $J_{s\lambda}$ - абсолют қора жисмнинг нурланишини спектрал жадаллилиги, $Вт/м^3$.

Иссиқликнинг нурланишини асосий қонунлари.

Планк қонуни. Абсолют қора ва бошқа реал жисмларнинг нурланиш жадаллилиги ($J_{s\lambda}$ ва J_λ мос ҳолда) ҳароратга ва тўлқиннинг узунлигига боғлиқ. Абсолют қора жисм берилган ҳароратда барча $\lambda = 0$ дан $\lambda = \infty$ гача тўлқин узунлигида нур чиқаради, лекин энергияни спектр бўйича тарқалиши турлича бўлади.

Электромагнитли нурланишдан келиб чиққан ҳолда ва энергия квантлари тўғрисидаги тушунчалардан фойдаланиб, Планк назарий жиҳатдан қуйидаги абсолют қора жисмнинг ҳарорат ва тўлқин узунлигига боғлиқ бўлган қонуни ўрнатди.

$$J_{s\lambda} = C_1 \lambda^{-5} / \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right), \quad (16.2)$$

бу ерда e -натурал логарифм асоси; $C_1 = 3,74 \times 10^{-16} \text{ Вт}\cdot\text{м}^2$ -Планкнинг биринчи доимийлиги; $C_2 = 1,44 \times 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{град}$ Планкнинг иккинчи доимийлиги.

16.1-расмдан кўриниб турибтики, исталган ҳароратда нурланиш жадаллилиги $\lambda = 0$ бўлганда нўл қийматдан юқори миқдоргача эришади ва $\lambda = \infty$ бўлганда нўлгача камаяди. Ҳароратни ортишида ҳар бир тўлқин узунлиги учун нурланиш жадаллилиги ортади. Бундан ташқари 16.1-расмдан кўриниб турибтики ҳароратнинг ортиши билан эгри чизикнинг энг юқори қиймати қисқа тўлқиқлар томонига силжийди. $J_{s\lambda}$ нинг энг катта қийматига мос келадиган тўлқин λ_{mS} (мм да) Винни силжиш қонуни бўйича аниқланади.

$$\lambda_{mS} = 2,2 / T \quad (16.3)$$

Стефан-Болцман қонуни. Тажрибаларнинг кўрсаткичларига асосан Степан 1879й абсолют қора жисмнинг нурланиш энергиясининг зичлиги абсолют ҳароратининг тўртинчи даражасига тўғри пропорционалдагини ўрнатди: $U = \alpha T^4$. Термодинамиканинг иккинчи қонунидан келиб чиққан ҳолда ва ёруғлик босимини борлигини ҳисобга олмаган ҳолда Болцман 1884й бу қонуни назарий йўл билан олди.

Кирхгоф қонуни. Ҳар қандай жисм учун нурланиш энергияси ва ютиш энергияси ҳароратга ва тўлқиннинг узунлигига боғлиқ. Турли жисмларнинг нурланиш интегралини зичлиги E ва ютиш қобиляти A ҳар хил бўлади. Уларнинг ўзаро боғлиқлигини Кирхгоф қонуни ўрнатади. Ҳарорати T_s бўлган

абсолют қора бўлган пластина ва ҳарорати T бўлган кулранг пластина бир бирига параллел ҳолда бўлганда улар орасида ўзаро нурланишли иссиқлик алмашишни кўриб чиқамиз. Кулранг пластина сатҳи қора пластинага, у тўлиқ ютадиган, Степан-БолцҒман қонунига асосан E энергияни нурлатади. Ўз навбатида абсолют қора бўлган пластина сатҳи кулранг пластинага E_S энергия нурлатади. Энергиянинг $E_S A$ қисмини кулранг сатҳга эга бўлган жисм ютади, қолган энергия $(1-A)E_S$ ни қора рангли сатҳга қайтарилади ва у уни тўлиқ ютади. Келтирилган шароитда кулранг сатҳ $E_S A$ миқдордаги энергияни олади, E энергияни эса сарфлайди. Демак, иссиқлик баланси тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$Q = E - E_S A$$

T ва T_S ҳароратларнинг тенглик ҳолатида иссиқлик оқим Q нўлга тенг бўлади. Бундан қуйидаги келиб чиқади

$$E = E_S A \text{ ёки } E/A = E_S = E_S/A_S = C_S (T/100)^4 \quad (16.4)$$

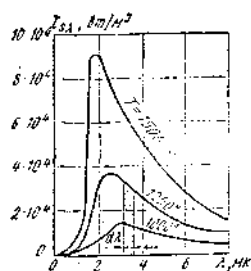
(16.4) тенглама ҳамма рангдаги жисмлар учун ҳам мақбул ҳисобланади ва Кирхгоф қонунини математик ифодаси ҳисобланади.

Жисмнинг нурлатиш қобилиятини уни ютишлик қобилиятига бўлган нисбати ҳамма кулранг жисмлар учун бир ҳил бўлади, агарда уларнинг ҳароратлари бир ҳил бўлса, ва шундай ҳароратдаги абсолют қора жисмнинг нурлатиш қобилиятига тенг.

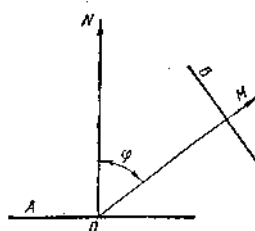
Кирхгоф қонунидан яна шуни кузатиш мумкин, кулранг жисмнинг қоралик даражаси ε бир ҳил ҳароратда сон жиҳатидан ютиш коэффиценти A га тенг.

$$\varepsilon = A$$

Ламберт қонуни. Ламберт қонуни нурланишнинг жадаллилигини йўналишига боғлиқлигини ўрнатади. Бу қонунга асосан нурланиш сатҳи A га тик йўналишда бўлган нурланиш максимал ҳисобланади (16.2-расм, ON нури). Бошқа йўналишда бўлган нурланишнинг энерги миқдори тик йўналишдагига қараганда кам бўлиб, бурчак $\cos \varphi$ га пропорционал ҳолда ўзгаради. Бу ерда φ нур қабул қилувчи B сатҳга йўналган OM нур билан тик йўналиш орасидаги бурчак.



16.1-расм.



16.2-расм.

Ламберт қонуни фақат абсолют қора ва кулранг жисмлар учун тўлиқлигича тааллуқли. Диффузионли нурланинг учун фақат $\varphi = 0 \dots 60^\circ$ оралиғида, сайқалланган сатҳ учун тааллуқли эмас.

Тиниқ муҳит билан ажратилган жисмлардан
ўзаро нурланишли иссиқлик алмашиш.

Улчамларига исбатан оралиғи жуда кам бўлган икки 1 ва 2 параллел жойлашган текис деворлар ўзаро нурланишли иссиқлик алмашиш содир қилади деб қараймиз. Деворлар тиниқ муҳит билан ажратилган; деворларнинг ҳарорати T_1 ва T_2 , лекин $T_1 > T_2$. Сатхларнинг юзалари мос ҳолда $F_1 = F_2 = F$ (16.3-расм).

Параллел жойлашган сатхларнинг ўзаро иссиқлик нурланиши қуйидаги тенглама билан аниқланади.

$$Q = C_{np} [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] F, \quad (16.5)$$

бу ерда C_{np} - келтирилган нурланиш коэффициентлари, $Вт/(м^2 К^4)$.

Ҳисоблашларда C_{np} ни ўрнига жисм тизимини келтирилган қоралик даражасини қуйидаги кўринишда ишлатиш мумкин.

$$C_{np} = \varepsilon_{np} C_s,$$

бу ерда ε_{np} тизимнинг келтирилган қоралик даражаси;

Келтирилган қоралик даражаси ва келтирилган нурланиш коэффициентлари қуйидаги ифодалар орқали аниқланади,

$$\varepsilon_{np} = 1/(1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) \quad (16.6)$$

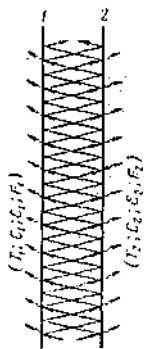
$$C_{np} = 1/(1/C_1 + 1/C_2 - 1/C_s)$$

бу ерда $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - биринчи ва иккинчи деворларга мос ҳолда сатхларини қоралик коэффициентлари, C_1, C_2 - мос ҳолда деворларнинг нурланиш коэффициентлари, $Вт/(м^2 К^4)$.

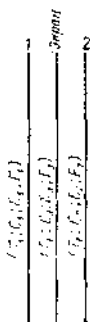
Нурланишдан ҳимоялаш.

Техниканинг турли йўналишларида иссиқликни нурланиш орқали узатилишини камайтириш талаб қилинади. Шунинг учун, икки сатх орасиги экран ўрнатилади. Экран юқори қайтариш қобилиятига эга бўлган юқа метал варақдан ташкил топган.

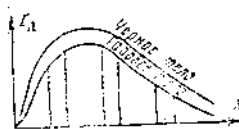
Деворларининг сатхи F_1 ва $F_2 (F_1 = F_2)$ жуда катта бўлган ва абсолют ҳароратлари T_1 ва $T_2 (T_1 > T_2)$ бўлган икки 1 ва 2 параллел жойлашган деворлар орасига сатхи $F_3 = F$ ва ҳарорати T_3 бўлган экран ўрнатилади. Сатхларнинг ва экраннинг қоралик даражаси мос ҳолда тенг $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$. (16.4-расм).



16.3.-расм.



16.4.-расм.



16.5.-расм.

Биринчи сатхдан иккинчи сатхга узатилаётган иссиқлик оқими (экран бўлганда) қуйидаги тенглама билан аниқланади.

$$q_0 = C_{np} [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (a)$$

Биринчи сатхдан экранга узатилаётган иссиқлик оқими қуйидаги ифода

орқали аниқланади

$$q_1 = C_{np} [(T_1/100)^4 - (T_{эк}/100)^4] \quad (б)$$

Экрандан иккинчи сатҳга узатилаётган иссиқлик оқими қуйидаги ифода орқали аниқланади

$$q_2 = C_{np} [(T_{эк}/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (в)$$

Иссиқликнинг турғун ҳолатида $q_1 = q_2$ шунинг учун

$$C_{np} [(T_1/100)^4 - (T_{эк}/100)^4] = C_{np} [(T_{эк}/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad \text{бундан}$$
$$(T_{эк}/100)^4 = 1/2 [(T_1/100)^4 + (T_2/100)^4]$$

(б) ва (в) тенгламаларга $(T_{эк}/100)^4$ ни миқдорини ўрнига қуйиб ва $q_1 = q_2$ ни ҳисобга олиб қуйидагини оламиз.

$$q_{1-2} = 0,5 C_{np} [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (г)$$

(г) тенглама билан (а) тенгламани солиштириб қуйидагини оламиз

$$q_{1-2} = 0,5 q_0 \quad (16.7)$$

Шундай қилиб, икки париллел жойлашган деворларнинг орасига бир дона экран ўрнатилганда нурланишли иссиқлик 2 марта камаяр экан. Иккита экран ўрнатилганда иссиқлик узатиш уч мартага, учта экран ўрнатилганда иссиқлик узатиш тўрт мартага камаяр экан.

Газларнинг нурланиши.

Газларнинг нурланиши қатик жисмларнинг нурланишидан кескин фарқ қилади. Бир атомли ва икки атомли газлар жуда кам нурланувчанлик ва ютувчанлик қобилиятига эга. Уч атомли (CO_2 ва H_2O ва б.) ва кўп атомли газларнинг нурланувчанлик ва ютувчанлик қобилияти юқори қийматларга эга. Ёнилғининг ёниш натижасида ҳосил бўлган юқори ҳароратда уч атомли газларнинг нурланиши иссиқлик алмашиш курилмалари учун катта аҳамиятга эга ҳисобланади. Уч атомли газларнинг нурланиш спектри кулранг жисмларга қараганда кескин селектив (танлаш) ҳодисасига эга. Бундай газлар спектрнинг турли қисмларида жойлашган тўлқиннинг маълум узунлик оралиғида энергияни ютади ва нур таркатади. (16.5-расм).

Бошқа тўлқин узунлигидаги нурлар учун бу газлар тиниқ ҳисобланади. Нур узининг йўналишида шундай тўлқин узунлигидаги нурларни ютадиган газ қатламига дуч келса, унда нурни бир қисми ютилади ва бир қисми киришидаги жадаллигидан кам бўлган жадаллик билан газ катламидан чиқади. Газ катламли жуда қалин бўлса, нурни ҳаммасини ютиб юбориши мумкин. Бундан ташқари газнинг ютиш қобилияти унинг парғиал босимига ёки молекулалар сонига ва ҳароратига боғлиқ. Нурланиш ва энергияни ютиш газнинг ҳажми бўйича содир бўлади.

Газнинг ютиш коэффициенти қуйидаги боғлиқликка асосан аниқланади.

$$A_\lambda = f(T_2; P, S)$$

ёки қуйидаги тенглама билан.

$$A_\lambda = 1 - \frac{1}{e^{KS}}$$

Нурланиш орқали иссиқлик узатиш коэффиценти куйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\alpha_{изл} = \frac{q_{изл}}{T_g - T_{ст}}$$

бу ерда $q_{изл}$ -нурланиш иссиқлик оқимининг йиғиндиси;

T_g -газнинг ўртача ҳарорати;

$T_{ст}$ -деворнинг ўртача ҳарорат.

16-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Иссиқликни нурланиши нимага асосланган?
2. Ютувчанлик, қайтарувчанлик ва ўтказувчанлик қобилят деб нимага айтилади?
3. Диффузияли ва ойнадек тиниқ сатх деб нимага айтилади?
4. Иссиқликнинг нурланишини қандай асосий қонунлари мавжуд?
5. Интеграл нурланиш зичлиги деб нимага айтилади?
6. Экрaнларнинг сонига қараб нурланишли иссиқлик узатиш қанчага камаяди?
7. Газларнинг нурланишли иссиқлик узатиши қандай?

Адабиётлар.

1. 284...286 ва 534...554 бетлар.
2. 126... 133 бетлар.
3. 421...446 бетлар.
5. 62...72 бетлар.
6. 272...284 бетлар.

17-мавзу, 15-маъруза, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Мураккаб иссиқлик алмашиш.
2. Текис, цилиндр шаклли, сферикли ва қобирғали деворлардан иссиқлик узатиш.
3. Иссиқлик узатиш коэффиценти.
4. Иссиқлик узатиш жараёнини жадаллаштириш усуллари.
5. Иссиқлик изоляғияси.
6. Иссиқлик изоляғияси ашёсини танлаш.

Таянч сўз ва иборалар.

Иссиқлик узатиш; узатиш коэффиценти; термик қаршилиқ; изоляғия; жадаллаштириш.

Иссиқлик узатиш.

Текис девор орқали иссиқликни узатиш.

Бир муҳитдан (иссиқ) бошқа муҳитга (совуқ) бир қатламли ёки кўп қатламли каттик, турли шаклли деворлардан иссиқликни ўтказиш иссиқлик узатиш деб аталади.

Иситувчи батареяларнинг деворидан иссиқ сувни ҳароратини хонадаги ҳавога ўтказилиши (узатилиши) иссиқлик узатишга мисол бўлади.

Иссиқлик узатиш мураккаб жараён бўлиб, унда иссиқлик ҳамма усулларда узатилади: иссиқлик узатувчанлик, конвекғия ва нурланиш.

Девордан иссиқликни узатиш жараёни уч қисмдан ташкил топади. Биринчи қисмида иссиқликни олиб юрувчидан иссиқликни деворга бериш. Иккинчи қисмида (босқичда) иссиқлик ўтказувчанлик орқали девордан иссиқликни ўтказиш. Учинчи қисмида деворнинг иккинчи сатхидан конвекция орқали совуқроқ иссиқликни олиб юрувчига узатиш.

Конвектив иссиқлик алмашиш усули билан иссиқликни олиб юрувчидан деворга узатилган иссиқликнинг миқдори Нкютон-Рихман тенгламаси орқали аниқланади.

$$Q = \alpha_1 F(t_1 - t'_{cm}) \quad (17.1)$$

бу ерда α_1 -иссиқлик ташувчидан иссиқликни ўзгармас ҳарорат t_1 да деворнинг сатҳига иссиқлик бериш коэффиценти; P -текис деворнинг ҳисобланган сатҳи, m^2 .

Текис девордан иссиқлик ўтказувчанлик орқали ўтказилган иссиқлик оқими қуйидаги тенглама орқали аниқланади.

$$Q = (\lambda / \delta) F(t'_{cm} - t''_{cm}) \quad (17.2)$$

Деворнинг иккинчи сатҳидан совуқроқ иссиқликни ташувчига берилган иссиқлик оқими Нкютон-Рихман тенгламаси орқали аниқланади.

$$Q = \alpha_2 F(t''_{cm} - t_2) \quad (17.3)$$

бу ерда α_2 -деворнинг иккинчи сатҳидан ўзгармас ҳарорат t_2 да совуқроқ иссиқликни ташувчага иссиқлик бериш коэффиценти.

(17.1), (17.2) ва (17.3) тенгламалардаги Q ни миқдори бир ҳил, жисмнинг ҳарорати ўзгармас бўлганда (стагионар режим) доворни олган иссиқлиги берган иссиқлигига тенг бўлади.

Ҳароратларнинг фарқига нисбатан учта иссиқлик узатиш тенгламасини ечиб қуйидагини оламиз

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t'_{cm} &= Q / (\alpha_1 F) \\ t'_{cm} - t''_{cm} &= (\delta / \lambda) / (Q / F) \\ t''_{cm} - t_2 &= Q / (\alpha_2 F) \end{aligned} \right\} +$$

Тенгламаларни қўшиб, ҳосил қиламиз

$$Q = F(t_1 - t_2) / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2) \quad (17.4)$$

ёки иссиқлик оқимини зичлиги қуйидагига тенг бўлади

$$q = (t_1 - t_2) / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$$

(17.4) тенгламадаги $1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ ни k ҳарфи билан белгиланади ва иссиқлик узатиш коэффиценти деб аталади, ўлчам бирлиги $Wm/(m^2 \text{град})$.

$$k = 1 / (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2) \quad (17.5)$$

$$q = k(t_1 - t_2) \quad (17.6)$$

Иссиқлик узатиш коэффиценти сонли миқдори деворнинг сатҳ бирлигидан вақт бирлигида, ҳароратларини фарқи бир градус бўлганда, иссиқ иссиқлик ташувчидан совуқроқ иссиқлик ташувчига ўтган иссиқлик миқдорини ифодалайди.

Олинган (17.6) тенглама иссиқлик узатиш тенгламаси деб аталади.

Иссиқлик узатиш коэффицентига тескари бўлган миқдори бир қатламли текис девор орқали умумий термик қаршилик деб аталади, унинг ўлчам бирлиги

$$m^2 \text{град} / Wm.. \quad R = 1/k = (1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2) \quad (17.7)$$

бу ерда $1/\alpha_1$ ва $1/\alpha_2$ -ташқи термик қаршилик; δ/λ -деворнинг термик қаршилиги.

Кўп қатламли текис девордан иссиқлик ўтказилган ҳолда (17.4) ифодани махражига ҳамма қатламнинг термик қаршилигини йиғиндисини қўйиш керак.

$$Q = F(t_1 - t_2) / (1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_2) \quad (17.8)$$

$$q = \frac{Q}{F}(t_1 - t_2) / (1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_2)$$

Кўп қатламли текис девор орқали иссиқлик узатиш коэффициентини қуйидагига тенг бўлади

$$\kappa = 1 / (1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_2) \quad (17.9)$$

Кўп қатламли текис девор орқали умумий термик қаршилик

$$R = 1/\kappa = (1/\alpha_1 + \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i / \lambda_i + 1/\alpha_2)$$

Текис деворнинг сатхидаги ҳарорат қуйидаги тенгламалар орқали аниқланади.

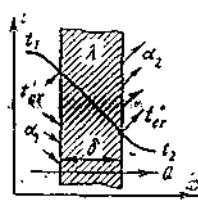
$$\left. \begin{aligned} t''_{cm} &= t_2 + Q/(\alpha_1 F) \\ t'_{cm} &= t_1 - Q/(\alpha_1 F) \end{aligned} \right\} \quad (17.10)$$

α ва κ маълум бўлганда текис деворнинг сатхидаги ҳарорат қуйидаги ифодалар орқали аниқланиши мумкин.

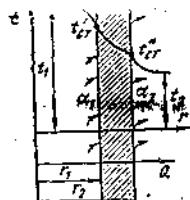
$$\begin{aligned} \alpha_1(t_1 - t'_{cm}) &= \kappa(t_1 - t_2) \\ \alpha_2(t'_{cm} - t_2) &= \kappa(t_1 - t_2) \\ t'_{cm} &= t_1 - (\kappa/\alpha_1)(t_1 - t_2) \\ t''_{cm} &= t_2 - (\kappa/\alpha_2)(t_1 - t_2) \end{aligned} \quad (17.11)$$

Бир қатламли ва кўп қатламли цилиндр шаклидаги девордан иссиқлик узатиш.

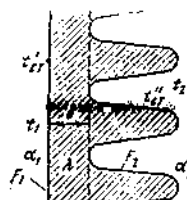
Ҳарорати ўзгармас t_1 ва иссиқлик узатиш коэффициенти α_1 бўлган иссиқ иссиқлик ташувчидан узгармас t_2 ҳарорати ва иссиқлик узатиш коэффициенти α_2 бўлган совуқроқ иссиқлик ташувчига бир жинсли цилиндр шаклидаги девор орқали иссиқлик ўтказилаяпти дсб қараймиз (17.2-расм).



17.1-расм.



17.2-расм.



17.3-расм.

Бунда иссиқлик оқими учун учта тенгламани ёзиш мумкин.

$$\begin{aligned} Q &= \alpha_1 \pi d_{\text{вн}} l (t_1 - t'_{cm}); \\ Q &= \left\{ \pi l / \left[(1/2\lambda) \ln(d_{\text{нар}} / d_{\text{вн}}) \right] \right\} (t'_{cm} - t''_{cm}); \\ Q &= \alpha_2 \pi d_{\text{нар}} l (t''_{cm} - t_2). \end{aligned}$$

Бу тенгламаларни ҳароратларини фарқига нисбатан ечиб ва уларни қўшиб қуйидагини оламиз.

$$Q = \pi l (t_1 - t_2) / \left[1/\alpha_1 d_{\text{вн}} + (1/2\lambda) \ln(d_{\text{нар}} / d_{\text{вн}}) + 1/\alpha_2 d_{\text{нар}} \right] \quad (17.12)$$

$$\text{бу ерда } 1 / \left[1/\alpha_1 d_{\text{вн}} + (1/2\lambda) \ln(d_{\text{нар}} / d_{\text{вн}}) + 1/\alpha_2 d_{\text{нар}} \right] = \kappa_{\text{ц}} \quad (17.13)$$

Иссиқлик узатишни чизиқли коэффициент деб аталади, ўлчам бирлиги

$Bm/(мг\text{рад})$.

Цилиндр шаклидаги девор орқали ўтадиган иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидагига тенг

$$q_u = Q/l = K_u \pi (t_1 - t_2)$$

Ҳароратларнинг фарқи бир градус бўлган иссиқ иссиқлик ташувчидан совуқроқ иссиқлик ташувчига 1м қувур орқали вақт бирлигида ўтган иссиқлик миқдори цилиндр шаклидаги деворининг иссиқлик узатиш коэффицентини сонли миқдори ҳисобланади. Шунинг учун (17.12) - тенгламани қуйидагига кўринишда ёзиш мумкин.

$$Q = K_u \pi (t_1 - t_2) . \quad (17.14)$$

n - қатламга эга бўлган цилиндр девор орқали иссиқлик ўтказиш оқими қуйидагига тенг бўлади.

$$Q = \pi (t_1 - t_2) / \left[(1/\alpha_1 d_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^{i=n} (1/2\lambda_i) \ln(d_{i+1}/d_i) + 1/\alpha_2 d_{\text{нар}}) \right] \quad (17.15)$$

Деворнинг ички ва ташқи сатхларига тўғри келадиган иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидаги тенглама билан аниқланади.

$$q_{u1} = Q/\pi d_1 l = K_u (t_1 - t_2)/d_1$$

$$q_{u2} = Q/\pi d_2 l = K_u (t_1 - t_2)/d_2$$

Иссиқлик узатишни чизикли коэффицентига тескари бўлган $1/K_{\Sigma}$ қиймат цилиндр шаклидаги девор орқали умумий чизикли термик қаршилиги деб аталади

$$R_u = 1/K_u = 1/\alpha_1 d_{\text{вн}} + \sum_{i=1}^{i=n} (1/2\lambda_{ii}) \ln(d_{i+1}/d_i) + 1/\alpha_2 d_{\text{нар}} \quad (17.16)$$

бу ерда $1/\alpha_1 d_{\text{вн}}$ ва $1/\alpha_2 d_{\text{нар}}$ -ташқи термик қаршилик;

$\sum_{i=1}^{i=n} (1/2\lambda_i) \ln(d_{i+1}/d_i)$ - кўп қатламли цилиндр шаклидаги деворнинг қаршилиги.

R_u ни ўлчам бирлиги $(мг\text{рад})/Bm$

Ички сатхининг ҳарорати қуйидаги ифода орқали аниқланади

$$t'_{cm} = t_1 - Q/\alpha_1 d_{\text{вн}} \pi l \quad (17.17)$$

Ташқи сатхининг ҳарорати қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$t''_{cm} = t_2 + Q/\alpha_2 d_{\text{нар}} \pi l \quad (17.18)$$

Сферик шаклли девор орқали иссиқлик узатиш.

Барча изотермик сатхлар учун стағионар режимда иссиқлик оқими ўзгармас бўлади.

$$Q = \alpha_1 \pi d_1^2 (t_1 - t'_{cm})$$

Бу тенгламаларни ҳароратлар фарқига нисбатан ечиб ва уларни қўшиб иссиқлик оқимини миқдорини аниқлаймиз.

$$Q = \pi (t_1 - t_2) / \left[(1/\alpha_1 d_1^2 + 1/2\lambda)(1/d_1 - 1/d_2) + 1/\alpha_2 d_2^2 \right]$$

$$\text{ёки} \quad Q = K_u \pi (t_1 - t_2) \quad (17.19)$$

(17.19) тенгламадан шар шаклидаги девор учун иссиқлик узатиш коэффицентини аниқлаймиз.

$$K_y = 1/\left[(1/\alpha_1 d_1^2 + 1/2\lambda)(1/d_1 - 1/d_2) + 1/\alpha_2 d_2^2\right] \quad (17.20)$$

ни ўлчам бирлиги $Bm/grad$.

(17.20) тенгламани тескари микдори шар шаклидаги деворнинг умумий термик қаршилиги деб аталади ва қуйидагига тенг

$$1/K_y = 1/\alpha_1 d_1^2 + (1/2\lambda)(1/d_1 - 1/d_2) + 1/\alpha_2 d_2^2$$

бу ерда d_1 шарни ички диаметри; d_2 -шарни ташқи диаметри; t_1 -шар ичидаги иссиқ иссиқлик ташувчининг ҳарорати; t_2 совуқроқ иссиқлик ташувчининг ҳарорати; α_1 -иссиқ суюқликдан шарни ички сатҳига иссиқлик ўтказиш коэффиценти; α_2 -шарнинг ташқи сатҳидан атроф муҳитга иссиқлик ўтказиш коэффиценти.

Қобирғали девор орқали иссиқлик узатиш.

Деворнинг бир сатҳи иссиқлик узатиш коэффиценти юқори бўлган томчили суюқликка тегиб турган бўлса иккинчи сатҳи катта термик қаршилиқ туғдирадиган иссиқлик узатиш коэффиценти кичик бўлган газга тегиб турган бўлса қобирғали сатҳлар деворнинг икки томонидаги иссиқлик узатиш термик қаршилигини тенглаштириш учун ишлатилади.

Термик қаршилиги юқори бўлган деворни қобирғали қилиш унинг иссиқ (ёки совуқроқ) иссиқлик ташувчи билан тегиб турадиган сатҳини оширади, иссиқлик узатишни умумий қаршилигини камайтиради ва иссиқлик оқимини кўпайтиради.

Агарда $t_1 > t_2$ бўлса, қобирғанинг ҳарорати баландлиги бўйича ўзгаради; қобирғани асосида унинг ҳарорати деворнинг сатҳини ҳарорати t'_{cm} га тенг бўлади, қобирғанинг учида эса ҳарорат t''_{cm} бир неча марта кам бўлади. Шунинг учун қобирғанинг асосан унинг учига қараганда кўпроқ иссиқлик узатади: қобирғани сатҳини атроф муҳитга узатадиган Q_p иссиқлик микдорини ўзгармас ҳароратда узатиши мумкин бўлган Q_{np} иссиқликка бўлган нисбати қобирғани самарадорлик коэффиценти деб аталади.

$$\eta_{\Delta} = \frac{Q_p}{Q_{np}}.$$

Қобирғанинг самарадорлик коэффиценти бирдан кичик бўлади. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти юқори бўлган ашёдан тайёрланган калта қобирғанинг самарадорлик коэффиценти бирга яқин бўлади. Қалинлиги δ бўлган текис деворнинг бир томонида қобирғаси бор бўлса, қобирғанинг текис сатҳини ёндош сатҳи ҳарорати билан тахминан ўзгармас t''_{cm} ҳароратга тенг деб қабул қилинади (17.3-расм). Девор ва қобирға иссиқлик узатувчанлик коэффиценти λ юқори бўлган битта ашёдан тайёрланган. Текис томонининг иссиқлик узатиш коэффиценти α_1 қобирғали томониники α_2 . Текис томонини сатҳини юзаси F_1 , қобирғанинг ва улар оралиғининг сатҳининг юзи F_2 . Иссиқ иссиқлик ташувчининг ҳарорати t_1 , совуқроқ иссиқлик ташувчининг ҳарорати t_2 . Бу ҳолда стағионар режим учун иссиқлик оқими учун урта тенглама ёзиш мумкин.

$$Q = \alpha_1 F_1 (t_1 - t'_{cm}), \quad Q = (\lambda / \delta) F_1 (t'_{cm} - t''_{cm}), \quad Q = \alpha_2 F_2 (t''_{cm} - t_2).$$

Бу урта тенгламани ҳароратлари фарқи бўйича ечиб ва уларни қўшиб

қуйидагини оламыз.

$$Q = (t_1 - t_2) / (1/\alpha_1 F_1 + \delta / \lambda F_1 + 1/\alpha_2 F_2), \quad \text{ёки} \quad Q = K_p (t_1 - t_2) \quad (17.21)$$

Бу тенгламадан қобирғали девор учун иссиқлик узатиш коэффициентини қуйидагига тенг бўлади.

$$K_p = 1 / (1/\alpha_1 F_1 + \delta / \lambda F_1 + 1/\alpha_2 F_2), \quad Bm / \text{град} \quad (17.22)$$

Агарда иссиқлик оқими текис сатх бирлиги учун бўлса, у ҳолда

$$K_{p/\varepsilon} = 1 / [1/\alpha_1 + \delta / \lambda + (1/\alpha_2)(F_1 / F_2)]; \quad Bm / \text{м}^2 \text{град} \quad (17.23)$$

Агарда иссиқлик оқими қобирғали сатх бирлиги учун бўлса, у ҳолда

$$K_{p \times p} = 1 / [(1/\alpha_1)(F_2 / F_1) + (\delta / \lambda)(F_2 / F_1) + 1/\alpha_2] \quad (17.24)$$

Ташқи сатхи қобирғали бўлган думолоқ қувур учун, юқоридагига ўхшаш мулохазага асосан, қуйидагини оламыз.

$$Q = K_{PK} (t_1 - t_2), \quad (17.25)$$

$$\text{Бундан} \quad K_p = 1 / [1/\alpha_1 F_1 + (1/2\lambda) \ln(d_2 / d_1) + 1/\alpha_2 d_2 (F_2 / F_1)], \quad (17.26)$$

бу ерда d_1 - қувурнинг ички диаметри; d_2 - қувурнинг ташқи диаметри; K_{pk} - $Bm / \text{мград}$ бирлик ўлчамига эга.

Келтирилган ифодалар баландлиги унча катга бўлмаган қобирғалар учун тааллуқли. Қобирғали сатх F_2 ни текис сатх F_1 га булган нисбати қобирғалаш коэффициентини деб аталади.

Қобирғали сатхлар учун иссиқлик узатиш коэффициентини аниқ миқдори фақат тажрибалар орқали аниқланиши мумкин.

Иссиқлик узатишни жадаллаштириш.

Иссиқлик аппаратларини ишлатиш тажрибаси, иссиқ иссиқлик ташувчидан совуқроқ иссиқлик ташувчига иссиқлик узатишни энг яхши шароитини талаб қилади. Бундай шароит асосан иссиқлик узатиш коэффициентига боғлиқ бўлади. Лекин фақат иссиқлик узатиш коэффициентини миқдорини ўзини билиш иссиқлик узатиш жараёнини тадқиқотлари учун старли эмас. Ҳамма термик қаршилиқлар нисбатини таҳлили тўғри хулоса чиқаришга ва иссиқлик оқимини миқдорини кескин ўзгартиришга имкон беради. Буни мисолларда тушунтириш мумкин.

Ёқиладиган газдан буғ қозонини деворига иссиқлик бериш коэффициенти $\alpha_1 = 30 Bm / (\text{м}^2 \text{град})$, девордан қайнайдиған сувга иссиқлик бериш коэффициенти эса $\alpha_2 = 5000 Bm / (\text{м}^2 \text{град})$; пўлат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти $\lambda = 50 Bm / (\text{мград})$, унинг қалинлиги эса $\delta = 0,02 \text{ м}$. Деворни текис деб ҳисоблаймиз. Бундай шароитда иссиқлик узатиш коэффициенти $\kappa = 29,5 Bm / (\text{м}^2 \text{град})$, яъни α ни кичик қийматидан ҳам кам.

Агарда иссиқлик узатиш коэффициентини миқдорини ошириш учун девордан сувга иссиқлик бериш шароити яхшиланса ёки иссиқлик узатувчан юқа ашё ишлатилса, бу усуллар билан иссиқлик узатиш коэффициентини оширишни имкони бўлмайди.

Иссиқлик бериш коэффициенти α_1 ва α_2 юқори бўлганда аппаратлар билан ин1 бошқача бўлади. Масалан, сув конденсаторида сув томонидан $\alpha_1 = 5000 Bm / (\text{м}^2 \text{град})$, буғ томонидан эса $\alpha_2 = 1000 Bm / (\text{м}^2 \text{град})$. Агарда бундай конденсаторни қалинлиги 20мм бўлаган пўлатдан тайёрланса

$\kappa = 1428 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{град})$, агарда пўлатнинг қалинлиги 3мм бўлса $\kappa = 2770 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{град})$, агарда қалинлиги 1мм бўлган қизил мис билан алмаштирилса $\kappa = 3400 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{град})$. Келтирилган мисол иссиқлик бериш коэффициентини миқдори юқори бўлса иссиқлик узатиш коэффициентини миқдори деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик даражасига кўпроқ боғлиқ бўлади.

Иссиқлик изоляғияси.

Атроф муҳитга иссиқликни узатилишини камайтирадиган, иссиқ сатҳни қоплаган (ўраган) ҳар хил ашёлар иссиқлик изоляғияси деб аталади. Иссиқлик изоляғияси сифатида иссиқлик ўтказувчанлиги жуда кам бўлган турли аншёлар ишлатилиши мумкин-асбест пробка, слюда, шлак, ёки ойна пахтаси, жун, қипиқ, торф ва бошқалар.

Цилиндр шаклидаги деворларни тўлиқ чизикли термик қаршилигини ифодасини таҳлили, изоляғияланган ўтказувчи қувурларнинг иссиқлик йўқотиши изоляғияни қалинлигига пропорционал нисбатда камайтишини кўрсатади.

Қувурни изоляғия қилишда фойдаланиладиган ашёларни иссиқлик йўқотишини камайтирадиган шароитини кўриб чиқамиз.

Цилиндр шаклидаги қувур бир қатламли изоляғия билан қопланган бўлсин. $\alpha_1, \alpha_2, d_1, d_2, \lambda_1, \lambda_2, t_1$ ва t_2 ларнинг ўзгармас қийматларида изоляғиянинг қалинлигини ўзгариши тўлиқ термик қаршилиқни ўзгаришига қандай таъсир қилишини кўриб чиқамиз.

Икки қатламли цилиндр шаклидаги деворнинг умумий термик қаршилиги тенгламаси

$$R_{\text{ц}} = 1 / K_{\text{ц}} = 1 / \alpha_1 d_1 + 1 / 2 \lambda_1 \ln(d_2 / d_1) + 1 / 2 \lambda_2 \ln(d_3 / d_2) + 1 / \alpha_2 d_3 \text{ да}$$

изоляцияни ташқи диаметри d_3 ни катталишишида изоляғиянинг қаршилиги ошади $[1 / 2 \lambda_1 \ln(d_3 / d_2)]$, шунинг билан биргаликда изоляғиянинг ташқи сатҳини' иссиқлик бериш қаршилиги камаяди. $1 / \alpha_3 d_3$

Тенгаламани ўнг томонини d_3 бўйича биринчи ҳосилани олиб қуйидагини ҳосил қиламиз

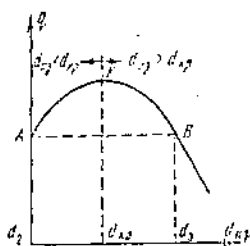
$$d(R_{\text{ц}}) / d(d_3) = 1 / 2 \lambda_2 d_3 - 1 / 2 \lambda_2 d_2^3 = 0$$

Бунда эгри чизик $R = f(d_3)$ ни экспериментал нуқтасига жавоб берадиган изоляғияни критик диаметри қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$d_{\text{кр}} = d_{\text{из}} = 2 \lambda_{2\text{из}} / \alpha_2 \quad (17.27)$$

(17.27) тенгламадан кўриниб турибтики, изоляғияни критик диаметри ўтказувчи қувурни ўлчамига боғлиқ бўлмайди. Изоляғиянинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти қанча кам бўлса ва изоляғиянинг ташқи сатҳидан атроф муҳитга иссиқлик бериш коэффициенти α_2 қанча кўп бўлса изоляғияни критик диаметри шунча кичик бўлади.

$R_{\text{ц}}$ бўйича иккинчи ҳосила нўлдан катта. Демак, изоляғияни критик диаметри иссиқлик қаршилигини энг камига ва иссиқлик оқимининг энг юқори қийматига мос келади (17.4-расм)



17.4-расм.

(17.27)-тенламани таҳлилидан келиб чиққан ҳолда шуни қайд қилиш мумкин. Аграда изоляғияни ташқи диаметри $d_{из}$ катгалашсаю $d_{кр}$ дан кичик бўлса, унда иссиқлик оқими ошади ва изоляғияланган қувурдан иссиқлик кўп йўқолади (AK эгри чизик). $d_{из}=d_{кр}$ бўлганда атроф муҳитга иссиқлик энг кўп ўтади (K нуқта). Изоляғиянинг ташқи диаметрини яънада ошиши $d_{из}>d_{кр}$ да иссиқлик йўқотиш $d_{из}=d_{кр}$ қараганда кам бўлади. Факат $d_{из}=d_3$ булганда иссиқлик йўқотиш изоляғия қилинмаган қувурдаги иссиқлик йўқотишга тенг бўлиб қолади.

Демак изоляғиянинг самарали ишлаши учун критик диаметр изоляғия қилинган ташқи диаметридан кичик бўлиши керак, яъни $d_{кр} \leq d_2$ (17.4-расм).

Қувурнинг берилган ташқи диаметри d_2 ва берилган иссиқлик бериш коэффиценти α_2 бўлганда изоляғия қилинмаган қувурга қараганда изоляғия иссиқликни кам йўқотиши учун $\lambda_{из} < \alpha_2 d_2 / 2$ бўлиши лозим.

Масалан диаметри $d_2=30^0\text{мм}$ ли қувурни иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти $\lambda_{из} = 0,1 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{град})$ бўлган шлак пахтаси билан изоляғия қилинган: иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_2 = 4,0 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{град})$. Шлак пахтасидан изоляғия сифатида фойдаланиш мақсадга мувофиқми?

Изоляғияни критик диаметри қуйидагига тенг бўлади.

$$d_{кр} = 2\lambda_{из} / \alpha_2 = 2 \times 0,1 / 4 = 0,05 \text{м} = 50 \text{мм}$$

$d_{кр} > d_2$ бўлганлиги учун шлак пахтасини кўрилатган шароит учун изоляғия сифатида фойдаланиш мақсадга мувофиқ эмас.

Кўрилатган шароит учун $\lambda_{из}$ қуйидагидан кам бўлиши керак, λ

$$\lambda_{из} \leq 4 \times 0,03 / 2 = 0,06 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{град}).$$

17-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Иссиқлик узатиш деб нимага айтилади?
2. Иссиқлик узатиш коэффиценти деб нимага айтилади?
3. Термик қаршилик деб нимага айтилади?
4. Деворларнинг сатҳини харорати қандай аниқланади?
5. Изоляғиянинг критик қалинлиги деб нимага айтилади?
6. Қандай ҳолатда қобпирғали деворлар ишлатилади?
7. Нимани ҳисобига иссиқлик узатишни жадаллаштириш мумкин?

Адабиётлар.

1. 340...425 бетлар.
2. 337...351 бетлар.
3. 284...287 бетлар.

18-мавзу, 16-маъруза, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Вазифаси.
2. Тавсифи ва иссиқлик алмашиш аппаратларини тизимлари.
3. Иссиқлик алмашиш аппаратларини ҳисоблаш тамойили.
4. Иссиқлик аппаратларини конструктивли ва текшириш ҳисоби.
5. Ҳароратнинг ўртача фарқи.

Таянч сўз ва иборалар.

Рекуперативли аппарат; регенеративли аппарат; иссиқлик баланси; тизимлари; ҳарорат фарқи.

Иссиқлик алмашиш аппаратлари.

Исситиш ёки совитиш жараёнлари кечадиган, яъни бир иссиқлик ташувчидан иссиқликни иккигчи иссиқлик ташувчига ўтказадиган қурилмаларга иссиқлик алмашиш аппаратлари деб аталади.

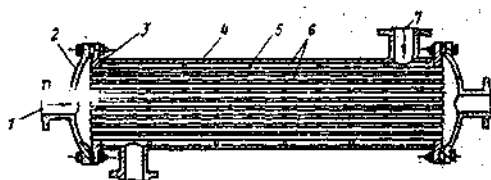
Ишлаш усулига қараб иссиқлик алмашиш аппаратлари рекуперативли, регенеративли, аралаштирадиган ва ички иссиқлик алмашиш турларига бўлинади.

Рекуперативли иссиқлик алмашиш аппаратларида иссиқ суюқликдан совуқ суюқликка иссиқлик уларни ажратиб турадиган девор орқали узлуксиз ўтиб туради. Бундай аппаратларга мисол тариқасида сувни сув орқали иситадиган аппаратни кўрсатиш мумкин (18.1- расм). Бундай аппаратда исситиладиган сув қувурдан оқиб ўтади иссиқ сув эса қувурлар орасидаги тўсиқлар орқали чекланган бўшлиқдан оқиб ўтиб иссиқликни қувурни девори орқали совуқ сувга ўтказди.

Регенератив аппаратларда битта сатх галма-галдан исситиладиган ёки иссиқ иссиқлик ташувчи билан юшиб турилади. Рекуперативли ва регенеративли иситгичларда иссиқлик узатиш иситиш сатхига боғлиқ, шунинг учун бундай аппаратларни сатхли аппаратлар деб ҳам аталади. Аралаштиргичли аппаратларда иссиқлик узатиш жараёни тўғридан-тўғри совуқ ва иссиқ суюқликларни бир-бирига тегиши ва аралашishi натижасида содир бўлади. Бундай аппаратлар сувни ҳаво ёки газ оқимида совитиш ёки иситишда фойдалайилади.

Ички иссиқлик ажралиб чиқиш аппаратларида битти иссиқлик ташувчи иштирок этади, иссиқлик аппаратни ўзида ажралиб чиқади. Бу усул бўйича ядро реактори ва электр иситгичлар ишлайди. Ҳозирги пайтда рекуперативли иссиқлик алмашитичли аппаратлар кенг тарқалган.

Рекуперативли иссиқлик алмашитичларни лойиҳалашда ҳисоблашни икки усулидан фойдаланилади: конструктивли, лойиҳалаётган аппаратни иситиш юзаси F ни аниқлаш мақсадида ва ишонч ҳосил қилишли-лойиҳаланган аппаратнинг имконларини аниқлаш учун фойдаланилади. Икки ҳолда ҳам ҳисоблашларда иссиқлик баланси ва иссиқлик узатиш тенгламаларидан фойдаланилади.



18.1-расм. Сувни сув орқали иситиш (водоводяной). 1-иситиладиган сув кирадиган қувур; 2-қопқоқ; 3-трубаларни бириктирадиган қисм (тахта); 4-гавда; 5-ажратгич; 6-қувур; 7-иссиқ сувни чиқиши.

Агарда биринчи иссиқлик ташувчини (иситувчи) массали миқдорини $G_1 \text{ кг/с}$; иккинчи иссиқлик ташувчини (иситиладиган) массали миқдори $G_2 \text{ кг/с}$; t_1' ва t_1'' - иситадиган суюқлик киришдаги ва чиқишдаги мос ҳолда ҳароратлари, K ; t_2' ва t_2'' - иситиладиган суюқликни киришдаги ва чиқишдаги мос ҳолда ҳароратлари, K ; C_{p1} ва C_{p2} - ўзгармас босимдаги иситадиган ва иситиладиган суюқликларнинг мос ҳолда ўртача массали иссиқлик сиғимлари; Q_n - иситадиган иссиқлик ташувчидан иситиладиган иссиқлик ташувчига ўгувчи иссиқлик оқими Вт . Бу ҳолда иссиқлик баланси қуйидаги кўринишига эга бўлади.

$$Q_n = G_1 C_{p1} (t_1' - t_1'') = G_2 C_{p2} (t_2'' - t_2'), \quad (18.1)$$

Иссиқлик узатиш тенгламаси қуйидагича ифодаланади

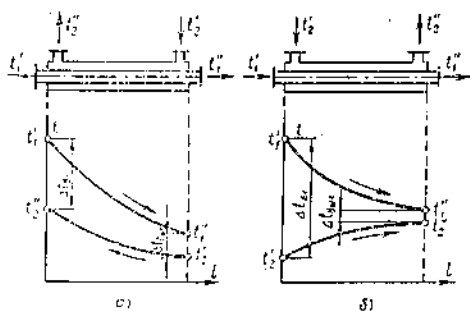
$$Q_n = KF\Delta t \quad (18.2)$$

бу ерда Δt - ўртача ҳароратлар фарқи

Иссиқ иссиқлик ташувчи аппарат бўйича силжиганда совийди, совуқроқ иссиқлик ташувчи эса исийди. Иссиқлик алмашиш аппаратини узунаси бўйича ҳароратлар фарқи $\Delta t = t_1 - t_2$ ўзгаради бу ифодадаги t_1 ва t_2 иссиқлик ташувчиларнинг айрим ўртача ҳароратлари.

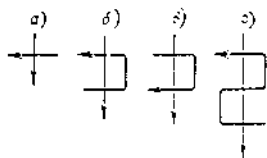
Суюқлик оқимининг йўналиши бўйича аппаратлар параллел оқимли қарама-қарши оқимли, аралаш оқимли ва бир-бирига нисбатан тик йўналишли оқимли турларига бўлинади.

Қарама-қарши оқимда суюқликларнинг силжиши учрашувчан (18.2а-расм); параллел оқимда икки суюқлик, иситувчи, иситилувчи иситиш сатхи бўйича бир хил йўналишида силжийди (18.2б-расм); аралаш оқимда иситиш сатхнинг турли қисмларида суюқликларнинг силжишида келтирилган икки усулдаги силжиш содир бўлади; бир-бирига тик йўналишда иситадиган ва исийдиган суюқликлар бир-бирга нисбатан тўғри бурчак ҳосил қилиб силжийди. Бир-бирига тик йўналишидаги оқим тизими (18.3-расмда) келтирилган.



18.2-расм. Иссиқлик ташувчиларнинг силжиш тизими. а-карама-қарши оқим; б-силжишдаги йўналиши бир томонга бўлган оқими.

C_p ни $кж/кг^{\circ}C$ бирлгида ўлчашда $GC_p = W$ кўпайтма сув эквиваленти деб аталади. Бунда (18.1)-тенгламадан $W_2 / W_1 = (t'_1 - t''_1) / (t'_2 - t''_2)$ бўлади, яъни иссиқлик алмашиш аппаратида ҳароратнинг ўзгариши сув эквивалентига тескари пропорционалда бўлади.



18.3-расм. Оқимларнинг бир-бирига нисбатан тик йўналишдаги иссиқлик алмашиш аппаратларининг тизими. а-бир марта оқиб ўтадиган; б, в-оқим икки марта айландиган; г-оқим уч марта айланадиган.

(18.2) тенглама билан иссиқлик узатишни миқдорини аниқлашда олдиндан ҳароратлар ўртача фарқи Δt ни тўғри аниқлаш керак.

Назарий тадқиқотларга асосан ҳароратларнинг ўртача фарқи қуйидагича аниқланади.

$$\Delta t_{yp} = (\Delta t_{куп} - \Delta t_{чик}) / 2,3 \lg(\Delta t_{куп} - \Delta t_{чик}) \quad (18.3)$$

бундан бир томонга йўналишдаги оқимлар учун

$$\Delta t_{6.m.й} = [(t'_1 - t'_2) / (t''_1 - t''_2)] / 2,3 \lg[((t'_1 - t'_2) / (t''_1 - t''_2))] \quad (18.4)$$

Бир-бирига нисбатан тик йўналишдаги оқимлар учун ҳароратлар фарқи

$$\Delta t_{.m.й} = [(t'_1 - t''_2) / (t''_1 - t'_2)] / 2,3 \lg[((t'_1 - t''_2) / (t''_1 - t'_2))] \quad (18.5)$$

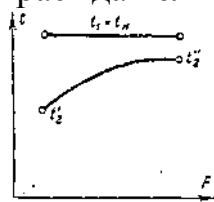
W_1 ва W_2 сув эквивалентлари ва иссиқлик узатиш коэффициенти K иссиқлик алмашгичнинг узунаси бўйича ўзгармаганда келтирилган тенгламалар тўғри бўлади.

Агарда $\Delta t_{куп}$ ва $\Delta t_{чик}$ озгина фарқ қилса, унда ўртача ҳароратлар фарқини қуйидаги ифода орқали аниқлаш мумкин.

$$\Delta t_{yp} = (t'_1 - t''_1) / 2 - (t'_2 - t''_2) / 2 \quad (18.6)$$

(18.6)-ифода орқали аниқланган ўртача ҳароратни ўзгариши тўғри бўлади, агарда ҳар бир суюқликнинг ҳароратини ўзгариши чизикли бўлса. $0,5 < \Delta t_{куп} / \Delta t_{чик} < 2$ бўлганда ўртача логарифмик ҳароратлар фарқини ўртача арифметик фарқи билан алмаштирилса хато 4% ошмайди.

Иситувчи суюқлик-тўйинган буғни ҳарорати иссиқлик алмашишда ўзгармасдан қолганда буғдан иссиқлик бериш $P = const$ да кечишида ишчи жисмнинг (иситувчи ва иситилувчи) иссиқлик алмашиш аппаратида ҳароратини ўзгариши 18.4-расмда келтирилган.



18.4-расм.

Иссиқлик ташувчилардан бири ўзгармас ҳароратда бўлганда (қайнаётган

сув ёки конденсағия бўлаётган буғ) ўртача ҳарорат фарқи (буғ сув иситгич учун) куйидаги ифода орқали аниқланади.

$$t_{yp} = (t_2'' - t_2') / 2,3 \lg[(t_n - t_2') / (t_n - t_2'')].$$

бу ерда t_u -иситадиган тўйинган буғни ҳарорати.

18-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Иссиқлик алмашиш аппарати деб нимага айтилади?
2. Иссиқлик алмашиш аппаратлари қандай гуруҳга бўлинади?
3. Суюқликларнинг ҳарорати қандай тизим орқали амалга оширилади?
4. Сув (шартли) эквиваленти деб нимага айтилади?
5. Рекуперативли иссиқлик алмашиш аппаратини лойиҳалашда қандай ҳисоблаш усуллари қўлланилади?
6. Ҳисоблашларда нималардан фойдаланилади?

Адабиётлар.

1. 586...612 бетлар.
2. 133... 138 бетлар.
3. 447...459 бстлар.
5. 72...78 бетлар.
6. 284...298 бстлар.

Муаммоли маъруза

19-Мавзу: Ёқилғи ва ёниш асослари.

Кўриладиган масалалар:

1. Ёқилғиларнинг умумий таснифи.
2. Қаттиқ суюқ ва газсимон ёқилғилар ва уларнинг хусусиятлари.
3. Ёқилғининг элементар таркиби.
4. Ёниш иссиқлиги (паст ва юкори).
5. Шартли ёқилғи.
6. Ёқилғининг тўла ёниши учун керак бўладиган ҳавонинг назарий миқдори.
7. Ҳавонинг ортиқлик коэффиценти.
8. Ёниш маҳсулотлари, ҳажми, энталпияси.
9. Ёнишнинг энергетик ва экологик муаммолари.
10. Алқтернатив ёқилғилар.

Таянч сўзлар ва иборалар.

Ёқилғилар; мотор ёқилғилар; ёниш иссиқлиги; шартли ёқилғи; ёниш маҳсулотлари; ҳавонинг ортиқлик коэффиценти; ёнишнинг энергетик ва экологик муаммолари; алқтернатив ёқилғилар.

Маърузада инсон ҳаётида техника, иссиқлик энергияси аҳамияти ва унинг олиш учун керакли жараёнларнинг самарадорлигини ошириш муаммолари кўрсатилади. Кўрилаётган масалалар қуйидагиларни назарда тутган ҳолда ўрганилиши лозим.

- Ёқилғилар ва ноёқилғилар фарқи.
- Ёқилғиларнинг ресурслари.
- Тикланмайдиган ва тикландиган ёқилғи ресурслари.
- Энергетик ресурсларни ташкил этувчилар ва уларнинг ўзгариш динамикаси

- Ўзбекистон шароитидаги мавжуд энергетик ресурслар.
- Ёқилғилар ва ёниш жараёнларини баҳолаш.
- Энергетик ресурслардан, манбалардан фойдаланишнинг энергетик ва экологик муаммолари.

Маърузада келтирилган материаллар амалиётдаги муаммолар билан боғланиб, ҳозирги замон ютуқлари мисол тариқасида келтирилади.

Булардан:

- Табiiй минерал энергетик манбалардан интенсив фойдаланиш натижасида пайдо бўлган муаммолар :
- Алтернатив энергетик манбалар - қуёш энергияси , шамол энергияси, геотермал энергия, биомассалар энергияси, тўлқин энергияси ва ҳ.к.
- Корбонат ангидрид чиқиндисининг дунё миқёсидаги муаммоси.
- Иссиқлик двигателларининг янги турлари ва уларнинг қисқача таҳлили.

Назорат саволлари:

1. Ёқилғи жисмлари ва уларнинг таркиби.
2. Ноёқилғи жисмлар вауланинг таркиби.
3. Ёқилғиларнинг элементар таркиби.
4. Шартли ёқилғи.
5. Ёқилғининг ёниш иссиқлиги.
6. Мотор ёқилғилари.
7. Алтернатив ёқилғилар.
8. Газсимон мотор ёқилғилар.
9. Ҳавонинг оптиқлик коэффициенти.
10. Ёниш жариёнлари .
11. Тўла ва чала ёниш жараёнлари.
12. Ёнишда кислороддан фойдаланиш.
13. Кислородли ёқилғилар.
14. Ёниш маҳсулотлари.

15. Ёниш маҳсулотларининг ҳажми.
16. Суюқ мотор ёқилғилари.
17. Ёниш маҳсулотларининг энталпияси.
18. Ёнишда ажралиб чиқаётган иссиқлик энергиясини ҳисоблаш.
19. Углеродни ва водородни ёниш учун керакли кислородни ҳисоблаш.
20. Углеродни ва вадародни ёниш учун керакли ҳавони ҳисоблаш.

АДАБИЁТЛАР:

1. Теплотехника; Учеб для вузов /В.Н.Луканин М.Г.Шатров и др.Под ред. В.М.Луканина - М.:Вхш. шк., 1999-671.
2. Теплотехника /А.М.Архаров, С.Н.Исаев,И.А.Кожинев и др. Под обў. ред. В.И.Крутова-М.: Машиностроение, 1986-420с.
3. Наўёкин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.-М: Вхш.шк. 1980-496с.
4. Кирилин В.А., Сичев В.В., Шейдлин А.Е. Техникавий термодинамика - Тошкент; Ўқитувчи, 1980. -420б.
6. Нурматов Ж., Халилов Н., Талипов У. Иссиқлик техникаси. Ўқув кўлланма.-Т.;Ўқитувчи, 1998.- 256
7. Чулков А. З . Экономия светлҳх нефтепродуктов на транспорте. –М:, Транспорт, 1985- 304с.

19-мавзу, 17-маъруза, 2-соат.

Кўриладиган масалалар.

1. Ёнилғиларнинг таснифи.
2. Саноатда турли ёнилғилардан фойдаланишни истиқболи.
3. Қаттиқ суюқ ва газсимон ёнилиғилар ва уларнинг тавсифи.
4. Ёнилиғилар элементар таркиби.
5. Ёниш иссиқлиги.
6. Шартли ёнилғи.
7. Назарий жиҳатдан керак бўлган ҳавонинг миқдори.
8. Ҳавонинг ортиқлик коэффициенти.
9. Ёнган маҳсулотларнинг ҳажмини ва энталпиясини аниқлаш.

Таянч сўз ва иборалар.

Ёнилғилар; таркиби; ёниш иссиқлиги; шартли ёнилғи; ёниши; ёниш маҳсулотлари.

Ёнилғи ва ёниш асослари.

Иссиқлик олиш учун ёкиладиган маҳсус ёнувчи жисмлар ёнилғи деб аталади. Кислород билан кимёвий бирикма ҳосил қилиб иссиқлик берадиган ҳамма жисмларни ҳам ёнилғи деб атаб бўлмайди. Масалан, айрим металлургия жараёнларида иссиқлик манбаи бўлиб кремний ҳисобланади, яъни ёнганда иссиқлик чиқаради, лекин кремнийни ёнилғи деб ҳисоблаб бўлмайди.

Физиковий хусусиятига қараб ёнилғилар қаттиқ суюқ ва газсимон бўлиши мумкин. Қаттиқ ёнилғиларга антрацит, тошкўмир, кўнгир кўмир, торф, ўтин, сланецлар, сомон ва бошқалар қиради.

Суюқ ёнилғиларга нефт ва унинг маҳсулотлари: бензин, керосин, легроин, турли мойлар, мазут қиради. Нефт ҳомашёси ўчақхоналарда (котелқнҳе) ёнилғи сифатида ишлатилмайди. Буғ козонларининг ўт хоналарида мазут ёкилади.

Қаттиқ ёнилғиларга ишлов бериш натижасида олинган сунъий суюқ ёнилғилар, ёнувчи смолалар ва мойлар қиради.

Табиий газ нефт газ, металл ишлаб чиқарадиган корхоналарининг чиқинди газлари крекинг газ, генератор газ, газсимон ёнилғилар туриган қиради.

Дунё; бўйича энергетик ресурсларни 95,6% ядро ёнилғисига ва 4,4% органик ёнилғиларга тўғри келади.

Айрим ёнилғиларнинг тавсифи ва уларнинг таснифи.

Турли ёнилғиларнинг кимёвий ва физиковий хусусиятлари бир-биридан кескин фарқ қилади.

Ўтин. Турли дарахтларни кесишда ҳосил бўлган дарахт чиқиндилари (шоҳлар, тўнкалар), ёғочга ишлов бериш корхоналарининг чиқиндилари (кесиклар, қириндилар, қипиклар) ва қишлоқ хўжалик ишлаб чиқаришининг чиқиндилари (сомон, пояси ва бошқалар).

Ўтинларнинг органик массасини таркиби турғун бўлиб, дарахтнинг турига қараб кам ўзгаради. Янги кесилган дарахтнинг намлиги 50...60% ни ташкил этади ва у дарахтнинг турига ва кесиш вақтига боғлиқ. Ўтиндан кулни

пайдо бўлиши 1% дан ошмайди.

Ўтиннинг ёнувчи массасини юқори иссиқлиги 20112кж/кг га яқин, ишчи аралашмасини қуйи иссиқлиги 12500кж/кг ни ташкил этади. Ёғочга ишлов берадиган корхоналарининг чиқиндиларидан ташқари, ўтинлар энергетик эҳтиياجлар учун ишлатилмайди.

Торф. Торф ёнилғининг табиий турига киради. Торфнинг иссиқлиги 8380 кж/кг гача оралиғида бўлади.

Кўмир. Қазиб олинadиган кўмир ўсимликлар маҳсули ҳисобланади. Қазиб олинadиган кўмирлар кўнғир, тошқумир ва антрацит турларига бўлинади.

Кўнғир кўмир. Бундай кўмир ерсимон кўринишга эга бўлиб, қора-кўнғир массага эга эмас. Намлигини юқорилиги ва кулини кўплиги сабабли ёниш иссиқлиги кўп эмас (6285...18855кж/кг). Бундай кўмирлар таркибида углерод кам ва водород кўп бўлади. Узидан ўзи ёнишга мойиллиги юқори.

Тош кўмир ялтирайдиган бир жимсли қора масса ёки кулранг-қора ранга эга.

Антрацит жуда зич, тимқори тошқўмир ҳисобланади. Тошқўмирларнинг намлиги 10% дан ошмайди. Уларнинг ёниш иссиқлиги, 25140кж/кг ва ундан юқори бўлади.

Сланеғ. Ўзининг кимёвий таркиби бўйича нефтга ўхшаш бўлади. Водороднинг миқдори кўп (7...9,5%) ва учувчан ёнувчи масса бўлиб, чиқишини юқори қийматга эгаллиги (70...80%), уни газлаштириш учун ашё сифатида ишлатиш имконини беради, ундан ташқари кимё саноатида турли ҳил мойларнинг ва ички ёнув двигателлар учун ёнилғини олиш мумкин.

Ёнувчи массанинг иссиқлигини юқорилигига қарамай (39805 кж/кг гача), намликнинг (11...22%), кулнинг (40...00%) ва олтин гугуртни (4%рача) кўп бўлиши унинг қуйи иссиқлигини 2514...3771 кж/кг гача камайишига олиб келади. Ёнилғи сифатида ишлатиладиган сланеғларнинг иссиқлиги $Q_H^P = 6285...9637 \text{ кж / кг}$ га эга бўлади.

Суюқ ёнилғи. Кўпчилик суюқ ёнилғилар углерод ва водороднинг кимёвий бирикмаларидан ташкил топган. Уларни ҳам нефтдан, кўнғир кўмир ва сланеғдан олинadиган смолалардан олинади. Нефтларда 84...86% углерод, 13...14% водород; 1...2% кислород ва азот бўлади. Нефтда намлик ва кул 1%дан ошмайди. Ҳом нефт ёнилғи сифатида ишлатилмайди. Уни қайта ишлаб ички ёнув двигателлар учун турли ҳил ёнилғилар, мойлаш ашёлари ва қимматли кимёвий бирикмалар олинади.

Карбюраторли двигателларнинг ёнилғиларини (бензин, керосин) асосий кўрсаткичи октан сони ҳисобланади. Октан сони ёнилғини детонациясиз ёнишини белгилайди.

Дизел ёнилғисининг асосий кўрсаткичлари гетан сони, бурланувчанлиги, қовушқоқлиги, коксланиши ва бошқалар ҳисобланади. Дизел ёнилғиларининг гетан сони одатда 40...50ни ташкил этади.

Ўзоқ хоналарда суюқ ёнилғилардан фақат ёқилadиган мазутдан фойдаланилади.

Газсимон ёнилғилар. Газсимон ёнилғилар бошқа турдаги ёнилғиларга қараганда бирқанча афзалликларга эга. Газсимон ёнилғилар хавонинг ортиқлик

коэффициенти кўп бўлмаган миқдорда тўлиқ ёниб, тутунлар ва қаттиқ қолдиқлар ҳосил қилмайди. Улар табиий ва сунъий газларга бўлинади.

Ёнилғининг элементар таркиби.

Ёнилғини элементар таркиби углерод, водород, кислород, азот, учувчан олтин гугурт, ҳамда ёнмайдиган минерал ташкил этувчилар-кул ва намликдан ташкил топган. Ёнилғининг ишчи массаси учун қуйидаги тенглик мавжуд.

$$C^p + H^p + N^p + S^p + A^p + W^p = 100\%$$

бу ерда C^p, H^p, O^p, N^p, S^p -ишчи ёнилғининг элементлари, фойиз ҳисобида.

Намликни ёнилғи таркибида бўлиши зарарли, чунки унинг буғланиши учун иссиқлик сарфланади ва ёнилғида ёнувчи жисмнинг миқдори нисбатан кам бўлади.

Ёнилғи таркибида кулнинг бўлиши, унинг иссиқлигини камайгириш билан биргаликда ўчоқларда ёнишини ва эксплуатация қилишни ёмонлаштиради.

Ёнилғининг асосий кўрсаткичи унинг ёниш иссиқликлари ҳисобланади. 1 кг ёнилғини тўлиқ ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқликка ёниш иссиқлиги деб аталади. Ёнилғининг ёниш иссиқлиги унинг кимёвий таркибига ва ёқиш шароитига боғлиқ. Ёниш маҳсулларида сув буғини мавжудлиги юқори ёниш иссиқлиги ва қуйи ёниш иссиқлиги туғрисидаги тушунчани киритишга тўғри келади.

1 кг ёнилғини тўлиқ ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқликни бир қисми сув буғини иситишга сарф бўлмаса бундай ёниш иссиқлигига юқори ёниш иссиқлиги деб аталади.

1 кг ёнилғини тўлиқ ёнишидан ҳосил бўлган иссиқликни бир қисми сув буғини иситишга сарф бўлса, қолган қисмини ёнилғини қуйи ёниш иссиқлиги, деб аталади.

Ёнилғининг ёниш иссиқлиги колориметрик ёки аналитик усул билан аниқланади. Аналитик усул билан ёнилғини ёниш иссиқлигини аниқлаш учун Д.И. Менделеев ифодасидан фойдаланилади.

$$Q_{ю} = 338c + 1249H - 108,5(O - S)_{кж} / кг \quad (19.1)$$

Қозон агрегатларини ўчоқхонасида ёнилғи ёқилганда ёниш маҳсулларида сув буғларини томчилари (конденсация) бўлмайди. Шунинг учун қозон агрегатларини иссиқлик ҳисобида ёнилғини қуйи ёниш иссиқлигидан фойдаланилади.

Қаттиқ ва суюқ ёнилғиларни қуйи ёниш иссиқлиги билан юқори ёниш иссиқлиги орасидаги боғлиқлиги қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$Q_H = Q_{ю} - 25W_{кж} / кг \quad (19.2)$$

бу ерда $25W$ - ёнилғининг намлигини буғланиши учун сарф бўлган иссиқлик.

Шартли ёнилғи.

Турли ёнилғиларнинг ёниш иссиқлигини миқдоридаги фарқ кўп бўлганлиги учун қиёсий таққословчи ҳисобларни бажаришни қийинлаштиради, шунинг учун шартли ёнилғи тушунчаси қабул қилинган. 1 кг ёки $1 м^3$ ёнилғини ёниш иссиқлиги $29300 кж$ бўлган ёнилғи шартли ёнилғи деб аталади.

Ёнилғини шартли ёнилғига айлантиришда қуйидаги нисбатдан фойдаланилади.

$$\mathcal{E}_K = Q_H / 29300 \quad (19.3)$$

бу ерда $\mathcal{E}_K$ -колория эквиваленти, кўрилатган ёнилғини қуйи ёниш иссиқлигини шартли ёнилғининг ёниш иссиқлигини қандай қисмига мос келишини кўрсатади.

Ёнилғининг тўлиқ ёниши учун назарий жихатидан керак бўлган ҳавонинг миқдори.

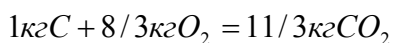
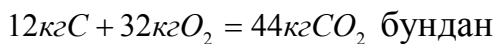
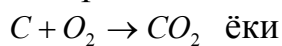
Ёнилғининг берилган таркибига асосан унинг тўлиқ ёниши учун назарий жихатидан керак бўлган ҳавонинг миқдорини аниқлаш мумкин.

Ёнилғининг тури, ёндириш усули ва ёниш камерасининг тури ёки ўчоқнинг тузилишига қараб ёниш жараёнида иштирок этадиган ҳавонинг миқдори назарий миқдорига қараганда 10...60% ортиқ бўлади. Ўчоққа келтирилган ҳавонинг ҳақиқий миқдорини V_g , назарий жихатдан керак бўлган ҳавонинг миқдорига V_0 бўлган нисбати ҳавонинг ортиқлик коэффиценти деб аталади.

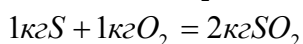
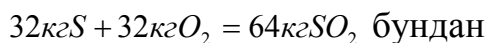
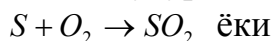
$$\alpha = V_g / V_0 \quad (19.4)$$

Ёнилғининг тўлиқ ёниши учун назарий жихатдан керак бўлган ҳавонинг миқдорини аниқлаш учун ёнилғининг тўлиқ ёниш тизимини кўриб чиқамиз.

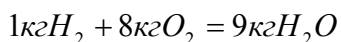
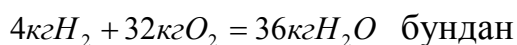
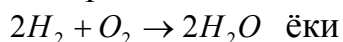
Углеродни ёниши



Олтин гугуртни ёниши



Водородни ёниши



Ёниш бирикмаси шуни кўрсатади, 1кг углеродни ёниши учун 8/3кг кислород, 1кг олтин гугуртни ёниши учун 1кг кислород, 1кг водородни ёниши учун 8кг кислород керак бўлади.

Бу ҳолатда 1кг ёнилғини ёниши учун назарий жихатидан керак бўладиган кислородни миқдори қуйидагига тенг бўлади.

$$[(8/3)C + 8H + S - O] / 100\text{кг} \quad \text{кислород/кг ёнилғи}$$

бу ерда C , H , S ва O массасига нисбатан фойизда берилган.

1кг ёнилғини тўлиқ ёниши учун назарий жихатидан керак бўладиган ҳавонинг миқдори қуйидагига тенг бўлади.

$$l_0 = \left(\frac{100}{23,2} \right) \left\{ \left[\left(\frac{8}{3} \right) C + 8H + S - O \right] / 100 \right\} \quad (19.5)$$

Ёнилғининг ёниш махсулотларининг ҳажми.

1кг ёнилғини тўлиқ ёнишидаги ёниш махсулотларини ҳажмини нормал шароит учун аниқлаймиз. Тўлиқ ёниш махсулотлари қуйидагилардан иборатдир:

Карбонат ангидрид CO_2 , сув буғи H_2O (ёнилғидаги водородни ёнишидан ҳосил бўлади) ва олтин гугурт ангидриди SO_2 ;

Сув буғи, ёнилғидаги намликни буғланишидаи ҳосил бўлган, ҳамда ҳаво билан кирган намлик;

Ёнилғи ва ҳаводаги азот;

Ёнишда фойдаланилмаган ҳавонинг кислороди.

Ёниш махсулотлаир қуруқ газларга ва сув буғларига бўлинади. Қуруқ газлардаги карбонат ангидридни ҳажмини V_y , олтин гугурт ангидридидини - V_s , азотни- V_N , кислородни- V_O ва мос ҳолда ҳажм бўйича фойизли миқдорини CO_2 , SO_2 , N_2 ва O_2 белгилаб қуйидагини ёзиш мумкин.

$$V_{C2} = V_y + V_s + V_N + V_O \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad \text{ёки \% да} \quad (19.6)$$

$$100 = CO_2 + SO_2 + N_2 + O_2 \quad (19.7)$$

ёниш махсулотларининг тўлиқ ҳажми

$$V_e = V_{CT} + V_{en} \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad (19.8)$$

бу ерда V_{en} -сув буғнинг ҳажми, $\text{м}^3 / \text{кг}$

Қуруқ газларнинг ҳажмини икки ва уч атомли газлар йиғиндиси кўринишида келтириш ҳам мумкин:

$$V_{C2} = V_3 + V_2 \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad (19.9)$$

Уч атомли газларнинг ҳажми

$$V_3 = V_y + V_s \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad \text{ёки} \quad (19.10)$$

$$RO_2 = CO_2 + SO_2 \quad (19.11)$$

CO_2 ва SO_2 ларнинг иссиқлик сиғими бир-биридан жуда оз фарқ қилади, ҳисоблашларда уларни тенг деб қабул қилимади.

Икки атомли газлар ҳажми

$$V_2 = V_N + V_O \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad \text{ёки \% да} \quad (19.12)$$

$$N_2 + O_2 \quad (19.13)$$

Ёнилғининг ёниш реакғиясидан, 1кг углероднинг ёнишидан 11/3 кг карбонат ангидрид, 1кг олтин гугуртнинг ёнишидан 2кг олтин гугурт ангидриди, 1кг водороднинг ёнишидан 9кг сув буғи ҳосил бўлиши маълум. Шунинг учун 1м^3 карбонат ангидридда $3 \times 1,977 / 11 = 0,54\text{кг}$ углерод, 1м^3 олтин гугурт ангидридида $1 \times 2,927 / 2 = 1,464\text{кг}$ олтин гугурт мавжуд. Бу ерда $1,977\text{кг} / \text{м}^3$ ва $2,927\text{м}^3 / \text{кг}$ мос ҳолда карбонат ангидридни ва олтин гугурт ангидридидини нормал шароитдаги солиштира ҳажми. Таркибида $C^P\%$ углерод ва $S^P\%$ олтин гугурт бўлган 1кг ёнилғини ёнишида

Ҳавонинг ортиқлик коэффициентига боғлиқ бўлмаган ҳолда.

$$V_y = C^P / 100 \times 0,54 = C^P / 54 \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad \text{карбонат ангидрид ва}$$

$$V_s = S^P / 100 \times 1,464 = S^P / 146,4 \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad \text{олтин гугурт ангидриди ҳосил бўлади.}$$

Бу нисбатларни ҳисобга олганда уч атомли газларнинг ҳажми

$$V_3 = V_y + V_s = C^P / 54 + S^P / 146,4 = (S^P + 0,375S^P) / 54 = K^P / 54 \quad \text{ни} \quad (19.14)$$

ташқил этади. Бу ерда $K^P = C^P + 0,375S^P\%$ - ёнилғидаги углеродни келтирилган миқдори.

Ёнилғининг механик ёнмаганлик қисмини ҳисобга олмаганда уч атомли газларнинг ҳажми

$$V_3^1 = 0,0185K^P \text{ м}^3 / \text{кг} \text{ бўлади. (19.15)}$$

Ёки механик ёнмаганликни ҳисобга олганда

$$V_3^1 = 0,0185K^P (1 - q_m / 100) \text{ м}^3 / \text{кг} \text{ (19.16)}$$

бу ерда q_m -механик ёнмаганлик натижасидаги йўқотиш.

Юқоридаги миқдор (V_3^1) берилган ёнилғи учун ўзгармас, RO_2 ва ҳавонинг ортиқлик коэффициентига боғлиқ эмас.

Ёнилғининг тўлиқ ёнишида ($\alpha = 1$) икки атомли газларнинг назарий ҳажми

$$V_2^1 = 0,79V_0^1 + N^P / 100 \rho_{N_2} = 0,79V_0^1 + N^P / (100 \times 1,257) = 0,79V_0^1 + 0,008N^P \text{ (19.17)}$$

тенг. Механик ёнмаганликни ҳисобга олганда

$$V_2^{11} = 0,79V_0^1 + 0,008N^P (1 - q_m / 100) \text{ м}^3 / \text{кг} \text{ бўлади. (19.18)}$$

Бу ерда 0,79 ҳаводаги азотнинг ҳажми, $0,008N^P$ -ёнилғидан азотни ажралишдаги қуруқ газнинг ҳажм бўйича қисми. $\alpha > 1$ бўлгандаги икки атомли газларнинг механик ёнмаганлигини ҳисобга олгандаги ҳажми

$$V_2 = V_2^{11} + (\alpha - 1)V_0^1 = 0,008N^P (1 - q_m / 100) + (\alpha - 1)V_0^1 + 0,79V_0^1 = (\alpha - 0,21)V_0^1 + 0,008N^P (1 - q_m / 100) \text{ м}^3 / \text{кг} \text{ (19.19)}$$

Ёниш маҳсулотини ташқил этган сув буғини ҳажмини аниқлаймиз. Сув буғининг умумий ҳажми куйидагига тенг.

$$V_{вн} = [(9H^P + W^P + 100W_\phi) / (100 \times 0,805)] (1 - q_m / 100) + V_0 \alpha / (100 \times 0,805)$$

бу ерда H^P ва W^P водородни ва ёнилғининг намлигини массаси бўйича фойиз миқдори; $W_\phi = 0,3 \text{ кг/кг}$ мазутни буғ орқали тўзитилгандаги буғни сарфи; 0,805-нормал шароитдани буғининг зичлиги, кг/м^3 ; $d_B = 82p / \text{м}^3$.

Энталпияларнинг аниқлаш учун газларнинг энталпияси C'_{3t_3} C'_{2t_2} ва сув буғи $C'_{B,n}t_{B,n}$ ни энталпияларининг жадвалидан фойдаланиб аниқланади.

19-мавзуга оид назорат саволлари.

1. Саноат қурилмаларида қандай ёнилғилардан фойдаланилади?
2. Ёнилғининг элементар таркиби.
3. Шартли ёнилғи нима?
4. Ҳавонинг ортиқлик коэффициенти деб нимага айтилади?
5. Ёнилғи чала ёнганда қандай маҳсулотлар ҳосил бўлади?
6. Ёнилки тўлиқ ёнганда қандай маҳсулотлар пайдо бўлади?
7. Ёниш иссиқлиги деб нимага айтилади?

Адабиётлар.

1. 613...636 бетлар.
2. 139...149 бетлар.
3. 78...95 бетлар.

Адабиётлар

1. Теплотехника. Учебник для ВУЗов (В.Н. Луканин, М.Г.Шатров, Г.М.Камфер. -М.: Вхсшая школа, 1999г.
2. Теплотехника. Под ред. В.Н.Крутова. -М.: Вхсшая школа, 1986г.
3. Нашокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. -М: Вхсшая школа, 1980.
4. В.А.Кирилин, В.В.Сичев, А.Е.Шейндлин. Технический термодинамика. -Тошкент.: -Ўқитувчи, 1980й.
5. Ж.Нурматов, Н.А.Ҳалилов, Ў.Қ.Толипов. Иссиқлик техникаси. - Тошкент.: Ўқитувчи, 1998й.
6. В.А.Кузовлев. Техническая термодинамика и основх теплопередачи. - М.: Вхсшая школа, 1975г.