

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ҚИШЛОҚ ВА СУВ
ХЎЖАЛИГИ ВАЗИРЛИГИ**

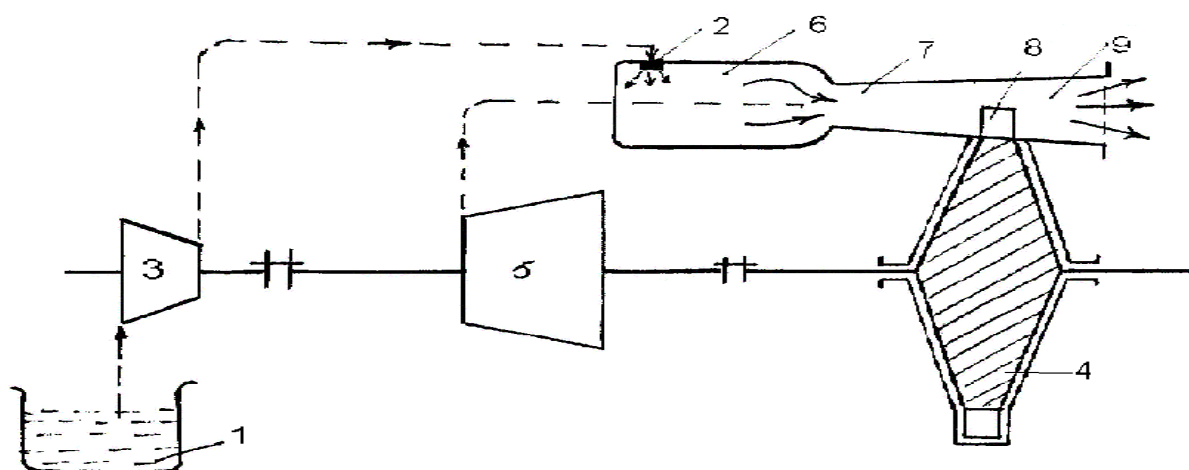
АНДИЖОН ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИК ИНСТИТУТИ

**«ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ»
ФАКУЛЬТЕТИ**

*«Қишлоқ хўжалик техникалари, фойдаланиш ва таъмирлаш»
кафедраси*

**5430100 – «Қишлоқ хўжалигини механизациялаштириш»
таълим йўналишининг талабалар учун
«ИССИКЛИК ТЕХНИКАСИ» фанидан**

МАЪРУЗАЛАР МАТНИ



Андижон-2013 - 2014 ўқув йили

Маърузалар матни Андижон киллоқ хўжалик институти ўқув-услубий кенгашининг 2013 йил йиғилишида кўриб чиқилган ҳамда 5430100 – «Қишлоқ хўжалигини механизациялаштириш» таълим йўналиши талабалар учун тавсия этилган.

Муаллифлар: «Қишлоқ хўжалик техникалари, фойдаланиш ва таъмирлаш» кафедраси доцентлари Б.Р.Болтабоев, Р.А.Абдирахмонов ассистентлар Б.А.Раззақов, М.Юлдашевлар

Маъруза №1. – 2 соат

Мавзу: Иссиқлик техникаси предмети ва мақсади. Асосий тушунчалар ва катталиклар.

Мақсад: Иссиқлик техникаси фанининг предмети ва мақсади, бўлажак мутахассислар фаолияти давомидаги аҳамияти ҳамда унда қўлланиладиган асосий тушунчалар ва катталикларни ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Иссиқлик техникаси фани ҳақида умумий маълумотлар.
2. Асосий тушунча ва катталиклар.
3. Термодинамик ҳолат параметрлари

Кириш

Мамлакатимиз мустақилликка эришганига мана 16 йилдан ошди. Жамиятимизнинг ривожланиши, маълумки бозор иқтисодиёти билан бормоқда.

Хозирги замон жамиятининг ҳаёти ва олдинга қараб ривожланиши турли хил турдаги энергияни истеъмол қилмасдан туриб бўлмайди. Энергиянинг асосий (бошланғич) тури бу **и с с и қ л и к э н е р г и я с и** бўлиб ҳисобланади. Қолган турдаги энергиялар иссиқлик энергиясининг маҳсулидир. Электр энергияси, атом энергияси, геотермал энергия, қуёш энергияси, ёнилғи энергияси ва ниҳоят, жонли ва жонсиз табиат истеъмол қиладиган нарсалар (одамлар овқати ҳам, шунинг учун кучли овқатни юкори коллорияли овқат дейилади) қуёшнинг иссиқлик энергиясидан олинган маҳсуллардир.

Ёнилғи ёқиб (ишлатиб) ишлайдиган ҳар қандай қурилма ва механизм иссиқлик машиналари ҳисобланади. Масалан, теплохот, тепловоз, ракета, самолёт, танк, автомобил, иссиқлик электростанциялари, тракторлар, иссиқлик бериш қозонлари ва ҳоказо.

Маълумки, кишилиқ жамияти хозирги кунда иссиқликка бўлган эҳтиёжини асосий қисмини нефть маҳсулотларидан олмоқда. Шу муносабат билан нефтни жаҳон бозор иқтисодиёти шароитида “қора олтин” деб аталганлиги бежиз эмас.

Мамлакатимиз мустақил бўлган қисқа давр мобайнида нефть мустақиллигига эришувида мухтарам президентимиз И.А.Каримовнинг хизматлари катта бўлди.

Маълумки, нефтдан олинадиган ёнилғи (бензин, керосин ва ҳ.к.)ларнинг ҳар бир килограммида 40...50 минг киложоуль иссиқлик мавжуд бўлади. Афсуски, ишлаётган двигателаримизнинг энг яхшиси ҳисобланган дизель двигателларида ана шу қимматбаҳо иссиқликнинг (тахминан) 40 % механик ишга айланади ҳолос.

Ҳаётимизда сув омборларини биламиз, электр энергиясининг омборларини (аккумуляторлар батареяси), газ омборлари ишляпти ва қурилмоқда. Бироқ, Республикамиз каби серқуёш ўлкада ёз ойларида иссиқлик

керагидан ортикча бўлиб, исроф бўлмоқда. Иссиқлик техникаси қонунлари билан яқиндан танишиб, мохиятига етиб ривожлантирилса, эҳтимол ёздаги ортикча иссиқлик миқдорини сақлаб қўйиб қишда ишлатиш, яъни иссиқлик омборини яратиш муоммосини хал қилиш мумкин бўлар.

Хозирги замон қишлоқ хўжалигини энергетика балансида иссиқлик энергияси асосий хал қилувчи аҳамиятга эга. Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариши истемол қилаётган энергиянинг 80 % ни иссиқлик энергияси ташкил қилади. Энергиянинг энг қулай тури бўлган электр энергияси, ҳозирча шу балансининг факат 6-7 % ни ташкил қилади ҳолос.

Иссиқлик энергиясини қишлоқ хўжалигидаги асосий истемолчиси тракторлар ва автомобилларга ўрнатилган ички ёнув двигателлари ҳисобланади. Маълумки, ички ёнув двигателлари иссиқлик двигателлари ҳисобланади.

Иссиқлик двигателларида ёнилғининг цилиндрда ёниши ҳисобига ҳосил бўлган иссиқлик миқдори механик ишга айлантирилади. Шунинг учун ҳозирги пайтда ва келажакда иссиқлик техникаси фанининг қишлоқ хўжалиги инженер-механиги учун аҳамияти катта.

Бундан ташқари, қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида иссиқлик энергияси хилма хил мақсадларда фойдаланилмоқда: ҳоналарни иситиш ва вентилация қилиш, бинодаги ҳавони кондицирлаш, иссиқлик хўжаликлари, совитиш машиналари, ишлаб чиқариш жараёнларини буғ билан таъминлаш ва ҳоқазолар.

1. Иссиқлик техникаси фани ҳақида умумий маълумотлар

Иссиқлик техникаси фани иссиқлик машиналари ва қурилмалари ёрдамида иссиқлик ҳосил қилиш, уни бошқа турдаги энергияга айлантириш, тақсимлаш ҳамда узатиш усуллари назарий ва амалий жиҳатдан қамраб олган умумтехникавий фандир.

Термодинамика ва унинг қисми бўлган иссиқлик техникасининг фан сифатида шаклланишида XVIII-XIX аср олимларидан Жон Жоуль, М.В.Ломоносов, Сади Карно, Клаузиус, Кельвин, Максвелл, Больцман, Менделеев, Ленц, Столетов, Циольковский каби олимларнинг хизматлари катта бўлган.

Иссиқлик энергиясини механик энергияга, механик энергияни электр энергиясига айлантириш натижасида электр энергиясини масофага узатиш, механик энергияга айлантириш масаласи хал этилди. Катта қувватга эга бўлган ГЭС, ТЭС, АЭС лар каби электр марказларини қўриш натижасида ишлаб чиқариш механизация-лаштирилди ва автоматлаштирилди.

Ҳозирги вақтга келиб, термодинамик қонуниятлар асосида яратилган асбоб-ускуналардан халқ хўжалигининг барча соҳаларида фойдаланилмоқда. Мисол қилиб, иссиқлик энергиясини механик энергияга айлантириб берувчи буғ машиналарини, ички ёнув двигателларини олишимиз мумкин.

Майер, Жоуль, Ленц каби олимлар энергиянинг сақланиш қонунининг мохиятини назарий жиҳатдан очиқ бердилар. Яъни, термодинамиканинг биринчи қонуни «энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни»дир.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни Карно, Клаузиус, Томсон, Кельвинлар томонидан фанга киритилди.

Термодинамиканинг ривожланишида рус олимларининг хизматлари ҳам беқиёсдир. Ленц – механик энергиясини электр энергиясига айланиш қонунини, Столетов – конвектив ва радиактив иссиқлик алмашинуви қонуниятини, Циольковский – кўп босқичли ракета двигателида иссиқлик энергиясини механик энергияга айланиш қонуниятини яратиб фанга катта хисса қўшдилар.

Хозирги замон олим ва мутахассисларининг олдида қуёш энергиясидан тўла фойдаланиш, инсониятни энергетик тақчилликдан бутунлай озод этиш муаммолари турибди. Маълумки, қуёш энергияси таъсирида ҳосил бўлган торф, тошқўмир, нефть, турли газларни қуёш энергиясининг ердаги аккумуляторлари деб аташ мумкин. Чунки, ернинг 1м^2 юзасига тушадиган қуёш нурининг энергияси тахминан 1 кВт га тенг. Бироқ, қуёш энергиясини электр энергиясига тўла айлантириш учун ҳозирги асбоб-ускуналарнинг фойдали иш коэффицентлари етарли эмас.

Термодинамика фани асосан икки қонунга таянган ҳолда иш тутади. **Биринчи қонун**, энергиянинг айланиш ва сақланиш қонуни, энергия йўқ бўлмайди, йўқдан бор бўлмайди. **Иккинчи қонун**, иш сарфламай иссиқликни ҳарорати паст жисмдан ҳарорати юқори жисмга ўтказиб бўлмайди (Клаузиус таърифи).

Иссиқлик техникасидан барча соҳалар каби, қишлоқ хўжалиги соҳасида ҳам кенг фойдаланилади. Юқорида таъкидлаганимиздек, қишлоқ хўжалиги энергетика балансининг 80 % ни иссиқлик энергияси ташкил этади. Энергиянинг энг қулай, экологик тоза бўлган электр энергияси ушбу баланснинг 6-7 % ни ташкил этади ҳолос.

Иссиқлик энергиясининг 80 % ни ташкил этишига сабаб, трактор ва автомобилларга ўрнатилган ички ёнув двигателларидир. Бу двигателлар иссиқлик энергиясини механик энергияга айлантирувчи двигателлардир. Бундан ташқари, иссиқхоналарда, бино ва иншоотларни иситишда, иссиқ сув билан таъминлашда, чорва ва паррандачилик фермаларида иссиқликдан кенг фойдаланилади.

2. Асосий тушунча ва катталиклар

Иссиқлик техникаси фанида ҳам қатор катталиклар ва тушунчалардан фойдаланилади. Қуйида иссиқлик техникасига оид асосий тушунчалар билан танишамиз.

Ишчи жисм - иссиқлик энергиясини механик энергияга айланиш жараёнидаги оралиқ жисмдир, яъни иссиқлик энергияси ишчи жисмга берилади ва у кенгайиб механик иш бажаради. Тахминий схемаси: **иссиқлик-ишчи жисм-механик иш**.

Иссиқлик машиналарида ишчи жисм сифатида газ ёки суюқлик буғлари ишлатилади, чунки ишчи жисмлар кенгайиш ва сиқилиш хусусиятларига эга бўлиши керак. Масалан, ички ёнув двигателларида ҳаво ишчи жисм бўлиб, ёнилғи ёнишидан ҳосил бўлган иссиқлик энергиясини қабул қилади ва кенгайиш жараёнида поршенни туртиб механик иш бажаради.

Газлар ва сув буғлари ўртасида айтарлиқ фарқ йўқ. Газларни маълум бир суюқликнинг буги (тўйиниш ҳолатидан узоқ бўлган) сифатида қараш мумкин.

Иссиқлик техникаси жараёнларида қўлланилаётган газлар, асосан ўзининг агрегат ҳолатини ўзгартирмайдиган, яъни суюқ ҳолатига ёки буғ ҳолатига ўзгармайдиган турғун ишчи жисм ҳисобланади. Маълумки, буғ - газ ва суюқлик орасидаги оралиқ элемент ҳисобланади.

Тўйинган буғлар газлардан ўзининг агрегат ҳолатининг ўзгарувчанлиги билан фарқ қилади, яъни тўйинган буғлар кўрсаткичларининг озгина ўзгариши билан буғ ҳолатидан суюқликка ёки аксинча ўзгариши мумкин.

Қиздирилган буғлар ўзининг агрегат ҳолатини турғунлиги билан газларга яқинлашади. Қиздирилганлик даражаси қанча юқори бўлса, қиздирилган буғ шунча газларга яқинлашади ва газ қонунларига бўйсунди.

Иш – микдорий жихатдан атроф-муҳитнинг жисмга бўлган таъсири билан ўлчанади. Механикада иш деганда, куч қўйилган жисмнинг вазияти ўзгариши тушунилади. Иссиқлик техникасида эса иш деганда, қўйилган куч таъсирида жисмни фақатгина вазиятигина эмас, шаклининг ўзгариши ҳам тушунилади. Масалан, ички ёнув двигателларида сувни юқори босим билан ҳайдаб берувчи насоснинг иш бажариши ҳисобига ёндирилган ёнилғининг химиявий энергиясининг маълум қисми сувнинг потенциал энергиясига айланади.

Хулоса қилиб айтганда, иш энергиянинг макрофизик шакли бўлиб, унда куч қўйилган нуқтанинг ҳаракатини бевосита кўз билан кузатиш мумкин. Иш бажарилиши учун камида иккита жисм, куч берувчи, яъни иш бажарувчи ва куч қўйилган жисм бўлиши зарур.

Иссиқлик – энергиянинг берилиш усули бўлиб, микрофизик жараёнларнинг мажмуаси ҳисобланади. Энергия атроф-муҳитдан жисмга фақат иш бажариш йўли билангина берилиб қолмай, иссиқлик кўринишида ҳам берилиши мумкин. Масалан, молекулаларнинг ўзаро тўқнашувидаги энергия алмашилиши, квант нурланиши, ҳар хил тўлқиндаги нурлар ва ҳ.к.лар шундай микрофизик ҳодисалар бўлиб, уларни кўз билан кўриб бўлмайди. Иссиқлик берилишида ҳам иккита жисм - энергия берувчи ва энергия олувчи жисмлар бўлиши зарур.

Иш (иш жараёни) ва иссиқлик энергия узатилишининг икки хил шакли бўлиб, бир жисмдан иккинчи жисмга берилаётган энергия бажарилган ишнинг ёки узатилаётган иссиқликнинг микдорини белгилайди.

Энергия – захирадаги имконият, яъни ҳали бажарилмаган ишдир. Иссиқлик ҳаракатини ўрганишда жисм томонидан берилиши мумкин бўлган иш ва иссиқликнинг йиғиндиси билан ўлчанадиган ички энергия кўзда тутилади.

Иссиқлик техникасида ишлатиладиган энергия, иш ва иссиқлик тушунчаларининг ўлчов бирликлари СИ системасида бир хил, яъни Жоуль (килоЖоуль). Лекин бундан, уччаласи ҳам бир хил катталиқ деган хулоса келиб чиқмайди.

3. Термодинамик ҳолат параметрлари

Бизга маълумки, табиатда мавжуд бўлган моддаларнинг барчаси учта асосий ҳолатнинг бирида, яъни газ, суюқлик ва қаттиқ жисм кўринишида бўлиши мумкин. Текширилаётган ўзгармас шароитда бир модда доим бир ҳил кўринишда бўлади. Масалан, сув атмосфера босимида ва 200°C ҳароратда доим бир ҳил буғ ҳолатида бўлади.

Модда текширилаётгандаги аниқ физикавий шароитларни, бинобарин, текширилаётган модда ҳолатини аниқлаш учун **ҳолат параметрлари** деб юритиладиган қулай тушунчалар киритилади.

Модданинг хоссаси **интенсив** ва **экстенсив** бўлиши мумкин. Системадаги модда миқдориға боғлиқ бўлмаган хоссалар **интенсив хоссалар** деб юритилади (босим, ҳарорат ва бошқалар). Модда миқдориға боғлиқ бўлган хоссалар **экстенсив хоссалар** деб аталади. Берилган шароитда модда миқдориға пропорционал равишда ўзгарадиган ҳажм экстенсив хоссаларға мисол бўла олади; 10 кг модданинг ҳажми 1 кг шу турдаги модданинг ҳажмиға қараганда 10 марта катта бўлади.

Солиштира, яъни модда миқдори бирлигига нисбатан олинган экстенсив хоссалар интенсив хоссалар маъносига эга бўлиб қолади. Масалан, солиштира ҳажм, солиштира иссиқлик сифими ва шунга ўхшашлар интенсив хоссалар сифатида текширилади. Жисм ёки жисмлар гуруҳининг – термодинамик системаларнинг ҳолатини белгиловчи интенсив хоссалар жисм (ёки термодинамик система) ҳолатининг **термодинамик ҳолат параметрлари** дейилади.

Ҳолат параметрларидан энг қулайи жисмнинг абсолют ҳарорати, абсолют босими ва солиштира ҳажми ёки зичлиги.

Агар газнинг зичлиги (ёки солиштира ҳажми), босими ва ҳарорати маълум бўлса, унинг ҳолати аниқланган бўлади. Зичлик ҳажм бирлигидаги масса бўлиб, ρ харфи билан белгиланади. Унга тескари бўлган катталиқ солиштира ҳажм – масса бирлигидаги ҳажм $\mathcal{V}$ ҳисобланади. Улар ўзаро қуйидагича боғланади.

$$\rho = \frac{1}{\mathcal{V}}, \quad \mathcal{V} = \frac{1}{\rho}$$

Агар газнинг массаси G (кг) ва ҳажми V (м^3) маълум бўлса, зичликни ва солиштира ҳажмни топиш мумкин, яъни

$$\rho = \frac{G}{V}, \quad G = \rho \cdot V$$

$$\mathcal{V} = \frac{V}{G}, \quad V = \mathcal{V} \cdot G$$

Демак, зичлик ва солиштира ҳажмларнинг бирликлари қуйидагича бўлади.

$$\rho \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right), \quad \mathcal{V} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right)$$

Босим - газларнинг молекуляр кинетик назариясига кўра, молекулаларнинг идиш деворларига урилишининг натижаси бўлиб, юза бирлигига таъсир килаётган куч билан ўлчанади.

СИ системасида босим бирлиги Н/м^2 ёки Па (Паскаль) ларда ўлчанади. 1 Па газнинг 1м^2 юзага 1 Н куч билан кўрсатаётган босимига тенг, яъни $1\text{Па} = 1\text{Н/м}^2$. Бу жуда кичик босим бирлиги бўлганлиги учун амалда кўпинча, кПа (килоПаскаль), мПа (мегаПаскаль) ёки гПа (гигаПаскаль) бирликлари қўлланилади. Бундан ташқари, босимни ўлчашда атмосфера ($1\text{ат} = 1\text{Н/м}^2$) ва бар ($1\text{бар} = 10^5\text{Н/м}^2$) ҳамда суюқлик (хусусан, сув ва симоб) устунларидан фойдаланилади.

Босимнинг турли бирликлари орасидаги боғланиш қуйидагича:

$$1\text{ бар} = 10^5\text{ Н/м}^2 = 1,01972\text{ кг/см}^2 = 750,06\text{ мм.сим.уст.} = 10197\text{ мм.сув уст.}$$

$$1\text{ ат} = 1\text{ кг/см}^2 = 735,6\text{ мм.сим.уст.} = 1000\text{ мм.сув уст.} = 98066,5\text{ Н/м}^2$$

$$1\text{ гПа} = 1000\text{ мПа}, 1\text{ мПа} = 1000\text{ кПа}, 1\text{ кПа} = 1000\text{ Па.}$$

Физик нормал шароит деб, $t = 0^\circ\text{C}$ ва $p = 760\text{ мм.сим.уст.} = 101325\text{ Н/м}^2$ бўлган шароит қабул қилинган.

Техникада босимни ўлчаш учун манометрлар ва вакуумметрлардан фойдаланилади. Агар идишдаги газнинг абсолют босими p_a ташқи муҳит босими $p_{\text{бар}}$ дан юқори бўлса, ортиқча ёки манометрик босим $p_{\text{ман}}$ манометр ёрдамида ўлчанади. Идишдаги газнинг босими p_a ташқи муҳит босими $p_{\text{бар}}$ дан паст бўлса, кам ёки вакуум босим $p_{\text{вак}}$ вакуумметр ёрдамида ўлчанади.

Шундай қилиб, абсолют (мутлоқ) босим юқоридаги асбобларнинг кўрсатишига асосан қуйидаги муносабатда аниқланади:

$$p_a > p_{\text{бар}}; \quad p_a = p_{\text{бар}} + p_{\text{ман}}$$

$$p_a < p_{\text{бар}}; \quad p_a = p_{\text{бар}} - p_{\text{вак}}$$

$p_{\text{ман}}$ ва $p_{\text{вак}}$ босимлар қуйидаги тенгликлар орқали аниқланади:

$$p_{\text{ман}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{бар}} = \rho g h$$

$$p_{\text{вак}} = p_{\text{бар}} - p_{\text{абс}} = \rho g h$$

бу ерда, g – эркин тушиш тезланиши;

ρ - суюқлик зичлиги;

h - асбобдаги суюқлик сатхининг фарқи.

Харорат - жисмнинг қизитилганлик даражасини ифодалайди ва турли харорат шкалаларида ўлчанади. Хозирги вақтда асосан учта харорат шкалаларидан фойдаланилмоқда.

- абсолют ёки термодинамик харорат (Кельвин) шкаласи $^\circ\text{K}$;
- юз градусли ёки Цельсий шкаласи $^\circ\text{C}$;
- Фаренгейт шкаласи $^\circ\text{F}$.

Иссиқлик техникаси хисоб-китобларида асосан Кельвин градуслари ишлатилади. 1848 йилда инглиз олими Кельвин таклиф этган ушбу харорат шкаласининг ноли сифатида идеал газ молекулаларининг тартибсиз ҳаракати тўхтайдиган харорат қабул қилинган, бу харорат абсолют (мутлоқ) ноль дейилади ва Цельсий хароратлар шкаласининг $-273,15^\circ\text{C}$ га тўғри келади. Маълумки, Цельсий шкаласининг ноли сифатида сувнинг музлаш харорати қабул қилинган. Цельсий шкаласининг бўлинган оралиқлари (градуслари) Кельвин шкаласига тўғри келади ($1^\circ\text{K} = 1^\circ\text{C}$). Бу икки шкалларда ўлчанган хароратлар ўзаро қуйидагича боғланган, $T = t + 273,15^\circ\text{K}$.

Фаренгейт шкаласи бўйича музнинг эриш харорати ва сувни қайнаш харорати физик нормал шароитда 32 ва 212°F га тенг. Фаренгейт шкаласи ва Цельсий шкаласи ўзаро қуйидаги тенглик орқали боғланган, $T = 1,8 t + 32^\circ\text{F}$

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Фаннинг мақсади ва предмети ҳақида маълумот беринг.
2. Асосий тушунчалар (ишчи жисм, иссиқлик, иш энергия) деганда нимани тушунаси?
3. Газ ҳолатини аниқловчи катталиклар (зичлик, солиштирма ҳажм, босим, ҳарорат) тушунча беринг.
4. Энергия ва ишнинг ўлчов бирликлари таққосланг.

Маъруза №2. – 2 соат

Мавзу: Идеал ва реал газ қонунлари.

Мақсад: Идеал ва реал газлар ҳақида тушунча. Идеал ва реал газ қонунларини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Идеал ва реал газлар. Газлар кинетик назариясининг асосий тенгламаси.
2. Идеал газ қонунлари.
3. Реал газ қонунлари.

1. Идеал ва реал газлар. Газлар кинетик назариясининг асосий тенгламаси

Идеал газ деб, шундай фаразий газга айтиладики, унинг молекулалари нуқтавий ҳисобланиб, улар (молекулалар) орасидаги ўзаро тортиш кучи нолга тенг бўлади. Бундай газларнинг ўзгариши тўлалигича Бойл-Мариот ва Гей-Люссак қонунларига бўйсунди.

Маълумки, табиатда бундай газлар учрамайди. Табиатдаги газлар (шу жумладан, буғлар ҳам) ҳаммаси реал, мавжуд газлардир. Реал газларда молекулалар маълум ҳажмга эга ва улар ўзаро тортиш кучи билан боғлангандир.

Биз қуйида идеал газларнинг асосий қонунлари билан танишиб чиқамиз. Бунда шуни унутмаслик керакки, идеал газ қонунларини реал газ билан боғлиқ бўлган техник масалаларда қўлланилса, натижа юқори физик аниқликда бўлмай, етарли техник аниқликда бўлади.

Шунга қарамай идеал газ қонунларини ўрганишимиз ва қўллашимизнинг асосий сабаби, қонунларнинг ифодалари ва формулаларининг жуда соддалигидир.

XIX аср ўрталарида М.В.Ломоносов томонидан асос солинган газларнинг молекуляр кинетик назариясига асосан, идишдаги идеал газ молекулалари маълум ҳажмда тенг тарқалган ва улар узлуксиз иссиқлик ҳаракатида бўлади. Молекулалар ўзаро тўқнашади ҳамда жойлашган идиш деворларига урилади. Молекулаларнинг идиш деворига урилиши натижасида газ турган идишнинг

хар бир томонига нормал (тик) ва микдор жихатдан бир хил бўлган босим таъсир қилади.

Юқорида айтилган назарияга кўра, физика курсида газлар кинетик назариясининг қуйидаги асосий тенгламаси келтирилиб чиқарилади.

$$p = \frac{n \cdot m \cdot \omega^2}{3} \quad (1)$$

бу ерда p - идеал газнинг идиш деворига бўлган абсолют (мутлоқ) босими;

n - хажм бирлигидаги молекулалар сони, яъни $n = \frac{N}{V}$;

V - маълум массадаги газнинг ҳажми;

N - шу ҳажмдаги молекулалар сони;

m - 1 та молекуланинг массаси (бир хил таркибдаги газлар учун молекулалар массалари тенг);

ω - молекула илгариланма ҳаракатининг ўртача квадратик тезлиги.

Ўртача квадратик тезлик, газни ташкил қилувчи алоҳида молекулаларнинг $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ тезликлари орқали қуйидагича аниқланади.

$$\omega = \sqrt{\frac{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_n^2}{n}} \quad (2)$$

(1) тенгликнинг сурат ва махражини 2 га кўпайтириб қуйидагига эга бўламиз:

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

Физика курсидан маълумки, (3) тенгликдаги $\frac{m \omega^2}{2}$ ифода 1 та молекуланинг ўртача кинетик энергиясини ифодалайди.

Идеал газлар кинетик назариясига кўра, молекулаларнинг кинетик энергияси билан газ ҳарорати орасида маълум боғланиш мавжуд, яъни

$$\frac{m \omega^2}{2} = \beta \cdot T \quad (4)$$

бу ерда; β - пропорционаллик коэффиценти бўлиб, сон жихатидан газнинг ҳарорати бир даражага ўзгаргандаги молекуланинг кинетик энергиясини ўзгаришига тенг.

Агар (3) тенгликдаги ифодаларнинг мос қийматларини келтириб қўйсак, қуйидаги ифодалар келиб чиқади.

$$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \cdot \beta \cdot T \quad (5), \quad pV = \frac{2}{3} N \beta T \quad (5a)$$

(5) ёки (5a) тенгликлар газлар молекуляр кинетик назариясининг иссиқлик техникасидаги ифодаси бўлади.

2. Идеал газ қонунлари

2.1. Бойл – Мариотт қонуни

Агар газлар молекуляр кинетик назариясининг иссиқлик техникасидаги ифодаси (5а) да берилган газ массаси учун $N=\text{const}$ ва $\beta=\text{const}$ десак, хароратни ўзгармаган ҳолати ($T=\text{const}$) учун қуйидагига эга бўламиз.

Исталган миқдордаги газ G (кг) учун

$$pV=\text{const} \quad (6)$$

1 кг газ учун эса,

$$p\vartheta=\text{const} \quad (7)$$

(6) ва (7) тенгламалар **Бойл-Мариотт қонуни**ни ифода этади, яъни маълум миқдор массага эга бўлган бир ҳил газнинг ҳажмини босимига қўпайтмаси уларнинг ҳолатидан қатъий назар бир хил хароратда ўзгармасдир. Бундан қуйидаги келиб чиқади, яъни

$$p_1\vartheta_1 = p_2\vartheta_2, \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \quad (8)$$

Агар газнинг зичлиги ўзининг солиштирма ҳажмига тескари пропорционал эканлигини ҳисобга олсак, $\rho_1 = \frac{1}{\vartheta_1}$, $\rho_2 = \frac{1}{\vartheta_2}$.

$$\text{У холда} \quad \frac{p_2}{p_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (9)$$

(8) ва (9) тенгламалар идеал газлар учун жуда муҳим бўлиб, қуйида улардан фойдаланилади.

2.2. Гей – Люссак қонуни

Гей-Люссак қонунида газ ҳолатининг ўзгариши ўзгармас босим шароитида кўриб чиқилади. Бунинг учун (5а) тенгликни қуйидаги шаклда ёзамиз.

$$\frac{V}{T} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N \cdot \beta}{p} \quad (10)$$

$p=\text{const}$ шароит учун (бунда $N=\text{const}$ ва $\beta=\text{const}$) $\frac{V}{T} = \text{const}$

Газнинг дастлабки ва кейинги ҳолатлари учун ёзамиз, яъни

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} , \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (11)$$

$$1 \text{ кг газ учун эса,} \quad \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (12)$$

чунки $V_1 = \vartheta_1 G$, $V_2 = \vartheta_2 G$.

(11) ва (12) тенгликлар **Гей-Люссак қонуни**ни ифодалайди. Яъни, ўзгармас босимда бир хил массадаги бир газнинг ҳажмлари хароратларига тўғри пропорционал.

Агар газнинг зичлиги ва солиштирма ҳажмларнинг ўзаро тескари пропорционал ($\vartheta_1 = \frac{1}{\rho_1}$ ва $\vartheta_2 = \frac{1}{\rho_2}$) эканлигини ҳисобга олсак, $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}$

Ўзгармас босим, лекин хароратлари турлича бўлган газлар зичликларининг нисбати уларнинг абсолют (мутлок) хароратларига тескари пропорционал бўлади.

2.3. Идеал газ ҳолатининг термик тенгламаси

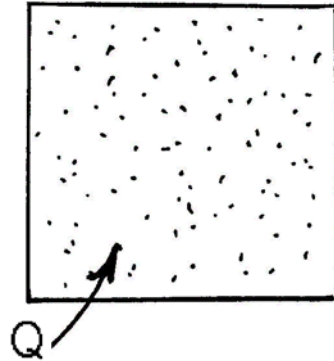
Агар 1-шаклда кўрсатилган идишга идеал газ тўлдирилган деб фараз қилиб уни қиздирсак, яъни газга иссиқлик миқдори берсак, газнинг ҳолати ўзгаради.

Идишдаги идеал газ учун (5а) тенгликнинг дастлабки (иситилмаган) ва иситилгандан кейинги ҳолатлари учун қуйидагини ёзамиз.

$$p_1 V_1 = \frac{2}{3} N \beta T_1,$$

$$p_2 V_2 = \frac{2}{3} N \beta T_2$$

бу ерда p_1, V_1, T_1 - газнинг дастлабки ҳолатидаги кўрсаткичлари;
 p_2, V_2, T_2 - газнинг иситилгандан кейинги кўрсаткичлари.



1- шакл

Юқоридаги иккала тенгликнинг бир-бирига мос равишда нисбатини олиб қуйидагиларни ҳосил қиламиз, яъни

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Пропорциянинг ўрнини алмаштириб ифодани ихтиёрий миқдордаги идеал газ учун ҳам ёзиш мумкин. Масалан, 1кг газ учун мос равишда ёзиш мумкин,

$$\frac{p \vartheta}{T} = \text{const} \quad (13)$$

(13) тенгликдан кўриниб турибдики, $\frac{p \vartheta}{T}$ ифода газ учун ўзгармас миқдор экан. Бу ўзгармас миқдор газ доимийси деб юритилади ва R билан ифодаланади, яъни

$$\frac{p \vartheta}{T} = R, \quad p \vartheta = RT \quad (14)$$

Охириги (14) тенглик **идеал газ ҳолатининг термик тенгламаси** ёки соддароқ ҳолатда, **1кг идеал газ учун ҳолат тенгламаси** дейилади. Бу тенглама 1 кг ҳар қандай ҳолатдаги идеал газ учун харорат, босим ва ҳажм орасидаги боғланишни ифодалайди. Баъзи ҳолатларда (14) тенгликни **Клапейрон тенгламаси** деб ҳам юритилади.

Газ доимийси - R газни тавсифловчи катталик бўлиб, у фақат газнинг химиявий таркибига боғлиқдир.

Агар (14) тенгликдаги ϑ нинг ўрнига $\vartheta = \frac{V}{G}$ қийматини қўйсак, ихтиёрий (G кг) миқдоридаги идеал газ учун газ ҳолати тенгламасини оламиз, яъни

$$p \frac{V}{G} = RT, \quad pV = GRT \quad (15)$$

(7) ва (8) тенгликлардаги катталиклар қуйидаги ўлчов бирликларида ўлчанади, p (н/м²), T (К), V (м³) ва G (кг). У ҳолда

$$R = \frac{p \cdot g}{T} = \left[\frac{\text{н} / \text{м}^2 \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}}{\text{К}} \right], \quad R = \left[\frac{\text{н} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right], \quad R = \left[\frac{\text{ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right]$$

Газ доимийсининг физик маъноси – 1 кг газни 1 даражага иситилганда унинг кенгайишидаги бажарган ишига тенг.

2.4. Бир киломоль газ учун ҳолат тенгламаси

Авагадро қонунига кўра, бир хил босим ва ҳароратда, тенг идишларда жойлашган ҳар қандай идеал газлар бир хил миқдордаги молекулалар сонига эга, яъни $p_1 = p_2$; $V_1 = V_2$; $T_1 = T_2$ бўлса, $N_1 = N_2$ бўлади.

Авагадро қонунидан қуйидаги хулоса келиб чиқади, бир хил босим ва ҳароратда икки хил газнинг зичликлари (ρ) ва молекуляр массалари (μ) бир бири билан тўғри пропорционалликда боғланади, яъни

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2}$$

$$\text{Маълумки, } \rho = \frac{1}{g} \text{ бўлганлиги учун, } \frac{g_1}{g_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (16)$$

Яъни, бир хил босим ва ҳароратдаги икки хил газ учун солиштира ҳажмларнинг нисбати, улар молекуляр массаларининг нисбатига тескари пропорционалдир. (16) тенгликдан қуйидагини ёзиш мумкин, $\mu_1 g_1 = \mu_2 g_2 = \dots = \mu_n g_n = \text{const}$

бу ерда, g - 1 кг газнинг эгаллаган ҳажми;

μ - шу газнинг молекуляр массаси;

μg - газнинг молекуляр массасига тенг бўлган килограмм (яъни μ кг) газнинг эгаллаган ҳажми.

Шундай қилиб, килограмм-молекула ёки киломоль деб, килограммлар сони газнинг молекуляр массасига тенг бўлган газ миқдorigа айтилади.

Масалан, $1 \text{ кмоль кислород} = 32 \text{ кг}$

$1 \text{ кмоль азот} = 28 \text{ кг}$

$1 \text{ кмоль метан} = 16 \text{ кг}$

Бир хил ҳароратда ва босимда ҳар қандай идеал газ тенг (бир хил) ҳажмни эгаллайди. Бу ҳажмни Ω билан белгилаймиз. У ҳолда

$$\mu \cdot V = \Omega, \quad \text{м}^3 / \text{кмоль} \quad (17)$$

Физик меъёрий (нормал) шароит ($p = 760 \text{ мм.сим.уст.}$ ва $T = 273 \text{ К}$) учун $\Omega = 22,4 \text{ м}^3 / \text{кмоль}$.

Бир хил шароитда турган 1 киломоль ҳар қандай газнинг эгаллаган ҳажмлари тенг эканлигидан фойдаланиб, газнинг меъёрий шароитдаги солиштира ҳажмини ёки унинг зичлигини аниқлаб олиш мумкин.

$$g = \frac{\Omega_M}{\mu} = \frac{22,4}{\mu}, \quad \text{м}^3 / \text{кг} \quad (18)$$

$$\rho = \frac{\mu}{\Omega_M} = \frac{\mu}{22,4}, \text{ кг / м}^3 \quad (19)$$

Киломоль тушунчаси билан танишганимиздан сўнг, шу газ миқдори учун ҳолат тенгламасини ёзамиз. Бунинг учун (15) тенгликка қайтамыз, яъни $pV=GRT$. Агар бунда биз $G = \mu$, яъни газни G кг эмас, μ кг деб олсак, ҳамда босим ва ҳароратни меъёрий шароитда десак, газ ҳолати тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$p \Omega_M = \mu R T \quad (20)$$

Тенгликни ўзгартириб ёзамиз, яъни

$$\mu R = \frac{p \Omega_M}{T} \quad (21)$$

(21) тенгликдаги кўпайтма $\mu R = R_y$ билан белгиланади ва у **универсал газ доимийси** деб юритилади, R_y нинг сон қийматини меъёрий шароит учун аниқлаймиз, яъни $p=10,330 \cdot 9,81 \text{ н/м}^2$, $\Omega=22,4 \text{ м/кмоль}$, $T=273 \text{ К}$.

$$\mu R = R_y = \frac{p \Omega}{T} = \frac{10330 \cdot 9,81 \cdot 22,4}{273} = 8314 \text{ Ж/кмоль} \cdot \text{К} \quad (22)$$

Шундай қилиб, Авагадро қонунидан келиб чиқадиган хулоса шуки, **ҳар қандай идеал газнинг 1 киломолини эгаллаган ҳажмларигина тенг бўлиб қолмай, балки уларнинг универсал газ доимийлари ҳам тенгдир.**

Универсал газ доимийсининг сон қийматини (20) тенгликка келтириб қўйиб, қуйидагига эга бўламиз.

$$p \Omega = 8314 \cdot T$$

Олинган тенглик, **1 кмоль газ учун ҳолат тенгламаси** дейилади. Бу тенглама биринчи марта Д.И.Менделеев томонидан таклиф қилинганлиги учун унинг номи билан юритилади, яъни **Менделеев тенгламаси** дейилади.

Универсал газ доимийсининг амалий аҳамияти яна шундан иборатки, агар ихтиёрий газнинг молекуляр массаси маълум бўлса, унинг газ доимийсини аниқлаш мумкин:

$$R = \frac{R_y}{\mu} = \frac{8314}{\mu} \text{ Ж/кг} \cdot \text{К} \quad (23)$$

Эслатма: Техникада ишлатиладиган баъзи бир газларнинг молекуляр массалари, газ доимийси ва бошқа характеристикалари ушбу дарсликда илова қилинган (1 жадвал).

3. Реал газ ҳолатининг тенгламалари

Идеал ва реал газлар орасидаги тафовут юқорида айтиб ўтилган эди. Шу тафовутлар сабабли Клапейрон тенгламасини реал газларга қўлланилганда анча ноаниқлик келиб чиқади. Баъзи газлар оддий атмосфера шароитидаёқ идеал газ тенгламасидан 2-3 % га фарқ қилиши мумкин. Юқори босим ва паст ҳароратларда реал газ билан идеал газ орасидаги тафовут сезиларли даражада ортиб боради. Жаҳон олимлари томонидан реал газ ҳолатини характерловчи жуда кўп (150 дан ортиқ) тенгламалар таклиф қилинган. Лекин тенгламалар, у ёки бу сабабларга кўра етарли аниқлик ва умумийликка эга эмас эди.

Реал газ ҳолатини яхшироқ (нисбатан) характерловчи тенглама 1873 йилда голланд физиги Ян Дидерик Ван-дер Ваальс томонидан таклиф қилинган бўлиб, у қуйидаги кўринишга эга.

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT \quad (24)$$

Ван-дер-Ваальс тенгламаси идеал газ тенгламаси ($P V = RT$) дан иккита тузатмаси билан фарқ қилади.

1) $\frac{a}{V^2}$ - ички ёки молекуляр босим, яъни молекулаларнинг ўзаро тортиш кучи

хисобига олинандиган босим.

2) b - сиқиб бўлмас ҳажм - яъни молекулаларнинг эгаллаган ҳажмлари хисобга олинади.

Бу ерда “ a ” ва “ b ” коэффициентларини, Ван-дер-Ваальс факат газнинг турига боғлиқ (кўрсаткичларига боғлиқ эмас) деб тушунтиради.

Кейинги пайтларда юқори босим билан ишловчи иссиқлик машиналарининг тез ривожланиши сабабли Ван-дер-Ваальс тенгламаси етарли аниқлик бермай қолди. Шунинг учун рус олимлари М.П.Вукалович ва И.И.Новиковлар юқоридаги тенгламани янада ривожлантириб ва аниқлик киритиб, ўзларининг қуйидаги тенгламасини таклиф қилдилар (1946 й.).

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT \left[1 - \frac{A_1 \cdot T}{V - b} - \frac{A_2 \cdot T}{(V - b)^2}\right] \quad (25)$$

бу ерда, $A_1(T)$ ва $A_2(T)$ - ҳароратларнинг маълум функциялари;

“ a ” ва “ b ” - тузатмалар, Ван-дер-Ваальс тенгламасидаги маънога эга.

Бу тенгламада молекулалар орасидаги ўзаро тортиш кучи ва молекулалар эгаллаган ҳажм тузатмалари хисобга олинishi билан бирга молекулаларнинг бирлашмалари ҳам хисобга олинган.

Вукалович ва Новиковларнинг фикрича, реал газларда юқори босим остида одатдаги яқка молекулалар билан бир қаторда иккиланган (ва хатто учланган) молекулалар мажмуаси ҳам учрайди.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Идеал ва реал газлар ҳақида тушунча беринг.
2. Газлар кинетик назариясининг асосий тенгламасини тушунтиринг.
3. Бойл – Мариотт қонуни ҳақида маълумот беринг.
4. Гей – Люссак қонуни ҳақида тушунчангиз.
5. Идеал газ ҳолатининг термик тенгламасини тушунтиринг.
6. Бир киломоль газ учун ҳолат тенгламаси ҳақида тушунча беринг.
7. Реал газ ҳолатининг тенгламаларини ўрганинг.

Маъруза №3. – 2 соат

Мавзу: Идеал газ аралашмалари. Газларнинг иссиқлик сиғими.

Мақсад: Газ аралашмаларининг хоссалари, таркиби ва уларга тадбиқ этиладиган қонунларни ўрганиш. Газ ва газ аралашмаларининг иссиқлик сиғимлари ҳақида тушунча олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Газ аралашмаларининг хоссаларини ҳақида маълумот.
2. Газларнинг иссиқлик сиғими.
3. Газ аралашмаларининг иссиқлик сиғими.

1. Газ аралашмаларининг хоссалари

Амалиётда, масалан ички ёнув двигателларини, қозон қурилмаларини ва х.к.ларни ҳисоблашларда ҳамда кўп технологик жараёнларда ишчи жисм сифатида соф ҳолдаги бир атомли газлар эмас, газ аралашмалари қўлланилади.

Кўп ҳолларда ишчи жисм сифатида бир бири билан ўзаро реакцияга киришмайдиган газ аралашмалари ишлатилади. Иссиқлик техникасида асосан атмосфера хавоси, табиий газлар ва хоказолар ишлатилади.

Бойл-Мариотт ва Гей-Люссак қонунларини газ аралашмаларига ҳам тадбиқ этиш мумкин. Шунинг учун газ аралашмалари учун ҳолат тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин, $pV_{ap} = G_{ap} R_{ap} T$.

Бу ерда, p – аралашманинг умумий босими;

V_{ap} – аралашманинг ҳажми;

R_{ap} – аралашманинг газ доимийси;

G_{ap} – аралашманинг массаси.

Газ аралашмаларининг асосий хусусиятларини Дальтон қонуни яхши ифодалайди. **Бу қонунга муофиқ, аралашмадаги ҳар бир газ идишда бошқа газлар йўқ ҳолдагидек тутати ва ўзининг босим улушини (парциал босимини) ҳосил қилади.**

Шундай қилиб, аралашма таркибидаги ҳар бир газ учун унинг парциал босимига боғлиқ ҳолда ҳолат тенгламасини ёзиш мумкин.

$$p_i V_{ap} = G_i R_i T$$

бу ерда, V_{ap} – аралашманинг эгаллаган ҳажми;

p_i – алоҳида олинган газнинг парциал босими;

G_i ва R_i – мос ҳолда алоҳида олинган газнинг массаси ва газ доимийси.

Дальтон қонунига биноан, аралашманинг босими (p) алоҳида олинган газларнинг парциал босимларининг йиғиндисига тенг бўлади.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (26)$$

бу ерда, $p_1, p_2, \dots, p_n$ – алоҳида олинган газларнинг парциал босимлари.

1.1. Газ аралашмасининг таркиби

Газ аралашмасининг таркиби, асосан, 2 хил усул билан берилиши мумкин, яъни аралашмани масса улуши (хиссаси) ва аралашмани ҳажм улуши (хиссаси).

а) алоҳида олинган (бир) газ массасининг аралашманинг умумий массасига нисбати, аралашмадаги газнинг масса улуши (хиссаси) дейилади ва “ g ” билан белгиланади.

$$g_i = \frac{G_i}{G_{ap}}$$

бу ерда, G_{ap} - аралашманинг умумий массаси.

$$G_{ap} = G_1 + G_2 + \dots + G_n \quad (27)$$

Масса бўлақларининг йиғиндиси 1 га тенг, яъни $g_1 + g_2 + \dots + g_n = \sum_{i=1}^n g_i = 1$

б) алоҳида олинган газнинг келтирилган ҳажмини аралашма эгаллаган умумий ҳажмга нисбати, аралашмадаги газнинг ҳажм бўйича улуши (хиссаси)

дейилади ва “ r ” харфи билан белгиланади. $r_i = \frac{V_i}{V_{ap}}$

бу ерда, V_{ap} - аралашманинг эгаллаган ҳажми.

$$V_{ap} = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum_{i=1}^n V_i \quad (28)$$

Ҳажм бўлақларининг йиғиндиси ҳам 1 га тенг, яъни $r_1 + r_2 + \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i = 1$

Баъзи ҳолларда, газ аралашмасининг таркиби киломоллар сони орқали ҳам берилиши мумкин. Бу усул ҳам, r_i - келтирилган ҳажм аралашма таркибидаги алоҳида олинган газнинг (аралашма ҳароратида ва босимида) эгалланган ҳажм улушлари орқали ифодалаш усулидан деярли фарқ қилмайди.

Агар аралашма таркибидаги газларнинг зичлиги (ρ_i) ёки молекуляр массалари берилган бўлса, ҳажм улушларида (r_i) берилган аралашма таркибини масса улушларида (g_i) ифодалаш мумкин, яъни

$$g_i = \frac{r_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n r_i \rho_i} \quad (29), \quad g_i = \frac{r_i \cdot \rho_i}{\sum_{i=1}^n r_i \cdot \mu_i} \quad (30)$$

Аксинча, газ аралашмасининг таркиби масса улушлари бўйича берилган бўлиб, ҳажм улушларига ўтиш лозим бўлса, у ҳолда қуйидаги ифодадан фойдаланиш мумкин.

$$r_i = \frac{\frac{g_i}{\rho_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\rho_i}} \quad (31), \quad r_i = \frac{\frac{g_i}{\rho_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (32)$$

1.2. Аралашманинг ўртача молекуляр массаси

Маълумки, газ аралашмасининг молекуласи (масалан, “ҳаво” деган молекула) йўқ. Шунинг учун, аралашманинг ўртача молекуляр массаси дейилганда, аралаш-манинг фарз қилинган (ўртачалаштирилган) молекуляр массасини тушуниш керак.

Ўртача молекуляр масса қуйидагича аниқланади.

$$\mu_{ap} = r_1\mu_1 + \dots + r_n\mu_n = \sum_{i=1}^n r_i\mu_i \quad (33)$$

ёки (32) ифодани ҳисобга олган ҳолда ёзиш мумкин.

$$\mu_{ap} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{\mu_i}} \quad (34)$$

Аралашманинг газ доимийси (R_{ap}) маълум бўлса, ўртача молекуляр массани универсал газ доимийси орқали содда йўл билан ҳисоблаш ҳам мумкин (22 тенгликка қаралсин).

$$\mu_{ap} = \frac{8314}{R_{ap}} \quad (35)$$

1.3. Аралашманинг газ доимийси

Аралашма масса улушлари орқали берилганда унинг газ доимийсини Дальтон қонунидан келиб чиқадиган тенглик орқали аниқлаш мумкин. Бунда аралашманинг массаси G_{ap} кг,

$$G_{ap} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

У ҳолда аралашма таркибидаги алоҳида олинган газ учун ҳолат тенгламаларини ёзиш мумкин.

$$p_1 V_{ap} = G_1 R_1 T$$

$$p_2 V_{ap} = G_2 R_2 T$$

$$\dots\dots\dots$$

$$p_n V_{ap} = G_n R_n T$$

Тенгликларнинг ўнг ва чап томонларини ўзаро қўшиб қўйидагини ҳосил қиламиз:

$$(p_1 + p_2 + \dots + p_n) V_{ap} = (G_1 R_1 + G_2 R_2 + \dots + G_n R_n) T$$

бу ерда, $p_1 + p_2 + \dots + p_n = p$ эканлигидан, $p V_{ap} = T \sum_{i=1}^n G_i R_i$

Демак, аралашма учун R_{ap} ни ҳисобга олган ҳолда ҳолат тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин.

$$p V_{ap} = G_{ap} R_{ap} T \quad (36)$$

Бу охирги иккала тенгликни чап томонлари ўзаро тенглигидан қуйидаги тенглик келиб чиқади, яъни

$$G_{ap} R_{ap} = \sum_{i=1}^n G_i R_i + G_2 R_2 + \dots + G_n R_n$$

ёки

$$R_{ap} = \frac{G_1}{G_{ap}} R_1 + \frac{G_2}{G_{ap}} R_2 + \dots + \frac{G_n}{G_{ap}} R_n \quad (37)$$

Бу тенгликдан,
$$\frac{G_1}{G_{ap}} = g_1, \quad \frac{G_2}{G_{ap}} = g_2, \quad \dots, \quad \frac{G_n}{G_{ap}} = g_n$$

Демак,
$$R_{ap} = g_1 R_1 + g_2 R_2 + \dots + g_n R_n \quad (38)$$

1.4. Парциал босим

Дальтон қонунига мувофиқ, аралашмадаги ҳар бир газ идишда бошқа газлар йўқ ҳолдагидек тутади ва ўзининг босим улушини (парциал босимини) ҳосил қилади.

Юқорида таъкидлаганимиздек, аралашма таркибидаги ҳар бир газ учун унинг парциал босимига боғлиқ ҳолда ҳолат тенгламасини ёзиш мумкин.

$$p_i V_{ap} = G_i R_i T$$

бу ерда, V_{ap} — аралашманинг эгаллаган ҳажми;

p_i — алоҳида олинган газнинг парциал босими;

G_i ва R_i — мос ҳолда алоҳида олинган газнинг массаси ва газ доимийси.

Дальтон қонунига биноан, аралашманинг босими (p) алоҳида олинган газларнинг парциал босимларининг йиғиндисига тенг бўлади.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

бу ерда, $p_1, p_2, \dots, p_n$ — алоҳида олинган газларнинг парциал босимлари.

Аралашма таркибига кирувчи алоҳида олинган газнинг парциал босими, газ таркибининг қандай усулда берилишига қараб, асосан, икки хил усул билан аниқланади:

а) аралашма таркиби ҳажм бўлаклари бўйича берилган, у ҳолда парциал босим,

$$p_i = \frac{V_i}{V_{ap}} \cdot p = r_i \cdot p \quad (39)$$

б) аралашма таркиби масса бўлаклари бўйича берилган, ҳолда,

$$p_i = g_i \frac{R_i}{R_{ap}} \cdot p \quad (40)$$

Баъзи ҳолларда аралашма таркиби ташкил этувчи газларнинг киломоллар сони орқали берилиши ҳам мумкин, у ҳолда

$$p_i = \frac{\mu_i}{\mu_{ap}} \cdot p \quad (41)$$

бу ерда, M_i - i -нчи газнинг (1та газнинг) киломоллар сони;

M_{ap} - аралашмадаги жами киломоллар сони;
 p - аралашманинг умумий босими.

2. Газларнинг иссиқлик сиғими

2.1. Иссиқлик сиғими хақида тушунча

Бир миқдор бирлигидаги (1 кг, 1м³ ёки 1 кмоль) газни 1 °С га иситиш учун сарфланадиган иссиқликнинг миқдорида, *газнинг иссиқлик сиғими* деб юритилади.

Шунга мос равишда, газнинг иссиқлик сиғими ҳам 3 хил бўлади, яъни

1. Газнинг масса бўйича иссиқлик сиғими;
2. Газнинг ҳажм бўйича иссиқлик сиғими;
3. Газнинг киломоль бўйича иссиқлик сиғими.

Шунга кўра, газнинг иссиқлик сиғимини 3 хил ишора билан белгилаймиз шунингдек, уларнинг ўлчов бирликлари ҳам 3 хил бўлади, яъни

1. c – масса бўйича иссиқлик сиғими, Ж /кг · К;
2. $\bar{C}$ – ҳажм бўйича иссиқлик сиғими, Ж /м³ · К;
3. μc – киломоль иссиқлик сиғими, Ж /кмоль.

Газнинг киломоль иссиқлик сиғими, масса бўйича иссиқлик сиғимининг молекуляр массага кўпайтмасидан иборат, яъни;

$$\mu c = c \cdot \mu, \text{ Ж / кмоль} \cdot \text{К} \quad (42)$$

Масса бўйича иссиқлик сиғими киломоль иссиқлик сиғимини газнинг молекуляр массасига бўлган нисбатига тенг.

$$c = \frac{\mu c}{\mu}, \text{ Ж / кг} \cdot \text{К} \quad (43)$$

Ҳажм бўйича иссиқлик сиғими, масса бўйича иссиқлик сиғими билан газ зичлигини кўпайтмасига тенг.

$$\bar{C} = c \cdot \rho, \text{ Ж / м}^3 \cdot \text{К} \quad (44)$$

Умумий ҳолатда, уччала турдаги иссиқлик сиғимларини ўзаро боғловчи ифодалари мавжуд. Улар қуйидагилар.

$$\mu c = c \cdot \mu = 22,4 \bar{C}$$

$$c = \frac{\mu c}{\mu} = \bar{C} \cdot g$$

$$\bar{C} = c \cdot \rho = \frac{c}{g} = \frac{\mu c}{22,4}$$

СИ бирликлар системаси билан (илгарги) МКГС системаси орасида қуйидаги боғланиш мавжуд, $\mu c = c \cdot \mu = 22,4 \bar{C}$.

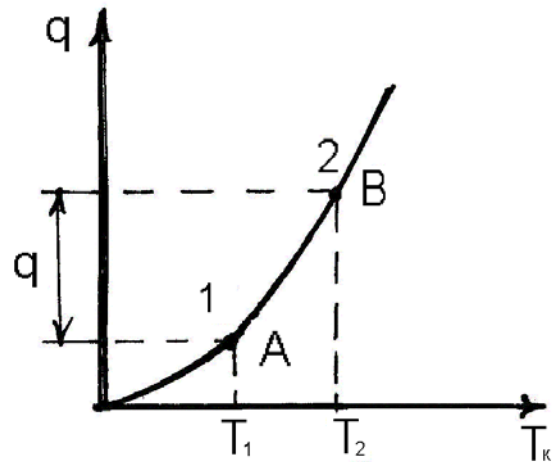
2.2. Ўртача ва хақиқий иссиқлик сиғимлари

Бирор ихтиёрий АВ жараёнда (2-шакл), ишчи жисмнинг ҳаракатини t_1 дан t_2 га орттириш (ёки камайтириш) учун, газни қиздириш (ёки совитиш) керак бўлсин. Бунинг учун маълум миқдордаги иссиқлик миқдори сарф қилинади. Жараённинг АВ оралиғида газнинг ҳароратини 1 °С га орттириш учун сарф бўладиган иссиқлик қуйидагича бўлади.

$$c_n = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (45)$$

(45) ифода газни t_1 дан t_2 гача бўлган ораликдаги ўртача иссиқлик сиғимини ифода-лайди, яъни у 1°C га қиздириш учун сарфланган иссиқлик миқдоридир.

Агар А нукта билан В нукта орасидаги масофани қискартириб, яъни $t_2 - t_1$ фарқни камайтириб борсак, 1 кг газни ҳар бир даражага қиздириш учун сарфланадиган иссиқлик миқдори бошланғич ҳолатда (А нуктада) сарфланадиган иссиқлик миқдорига яқинлашиб боради. Бунда $t_2 - t_1$ ҳароратлар фарқи қанча камайса, ўртача иссиқлик сиғими шунча ҳақиқий иссиқлик сиғимига яқинлашади.



2- шакл

Демак, ҳароратлар фарқи нолга тенг бўлганда, ўртача иссиқлик сиғими жараённинг А нуктасидаги иссиқлик сиғими билан бир хил бўлади.

Агар газнинг ҳароратини Δt даражага ўзгартириш учун Δq миқдорда иссиқлик сарфланса, ҳақиқий иссиқлик сиғими қуйидагича бўлади.

$$c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{ёки дифференциал кўринишда} \quad c = \frac{dq}{dt} \quad (46)$$

Ҳақиқий иссиқлик сиғими деб, қиздириш жараёнида ҳароратлар фарқи чексиз кичик бўлганда, бир миқдор бирлигидаги газни қиздиришга сарфланган солиштирма иссиқлик миқдорига айтилади.

Шу билан бирга жараённинг маълум нуктасидаги иссиқлик сиғими, шу ҳароратда газнинг ҳақиқий иссиқлик сиғимини ифода-лайди. Газга берилган иссиқлик миқдори эса қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (47)$$

G кг газ учун эса қуйидагини ёзиш мумкин, яъни

$$Q = G \cdot q = G \int_{t_1}^{t_2} c dt \quad (48)$$

2.3. Ўзгармас ва ўзгарувчан иссиқлик сиғимлари

Идеал газларда босим иссиқлик сиғимига кам таъсир қилади. Шунинг учун, иссиқлик сиғими фақат ҳароратнинг функцияси бўлиб ҳисобланади, яъни идеал газларнинг (шу жумладан реал газларнинг) иссиқлик сиғими ҳарорат ортиши билан ортиб боради ва аксинча.

Таҷрибалар шуни кўрсатадики, паст ҳароратларда газнинг иссиқлик сиғимига ҳароратнинг таъсири сезиларли миқдорда бўлмайди. Шунинг учун, баъзи ҳисоблашларда шартли равишда иссиқлик сиғимини ўзгармас (ҳароратга боғлиқ эмас) деб олинади. Бунда ҳисоблаш ишлари анча енгиллашади.

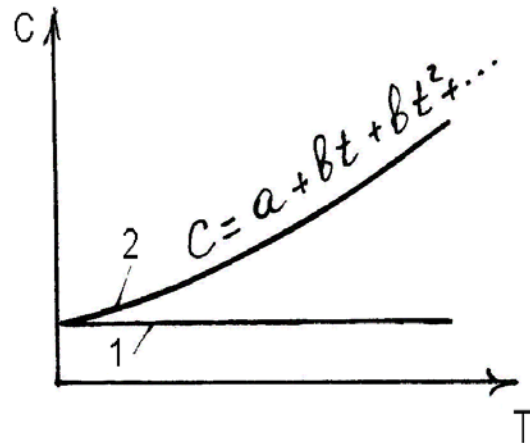
$$q = c (t_2 - t_1), \text{ Ж / кг }, \quad Q = G \cdot c (T_2 - T_1), \text{ Ж}$$

Иссиқлик сифими ўзгармас деб олинса, чизмада абцисса ўқиға параллел 1 чизик ҳосил бўлади (3-шакл).

Юқори ҳарорат ва босимда эса иссиқлик сифимини ҳароратға боғлиқлиғи жуда сезиларли бўлиб қолади. Бундай ҳолда, иссиқлик сифимининг ҳароратға боғланиши 3-шаклда 2-чизик орқали ифодаланади. Эгри чизик тенгламаси эса қуйидагича.

$$c = a + bt + bt^2 + \dots \quad (49)$$

бу ерда; a - газнинг 273°K (яъни 0°C) ҳароратдаги иссиқлик сифимини ифодалайди.



3-шакл

Иссиқлик сифими, ҳароратнинг функцияси бўлганлиғи учун бирон ҳарорат оралиғидаги газға сарфланган иссиқлик миқдорини ҳисоблашда ўртача иссиқлик сифимидан фойдаланилади.

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c dt = \bar{c} (t_2 - t_1); \quad (50)$$

(47) тенгликдан ўртача иссиқлик сифимини аниқлаймиз.

$$C_m = \frac{q}{t_2 - t_1}, \quad \bar{c} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c dt}{t_2 - t_1}$$

“ c ” нинг ўрниға (49) тенгликдаги ифодани келтириб қўйсақ,

$$\bar{c}_m = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (a + bt + dt^2 + \dots)}{t_2 - t_1} = a + b \frac{t_1 + t_2}{2} + d \frac{t_1^2 - t_1 t_2 + t_2^2}{2} + \dots \quad (51)$$

Кўриниб турибдики, (51) ифода орқали иссиқлик сифимини ҳисоблаш анча мураккаб. Шунинг учун кўпгина ҳолларда, иссиқлик сифимини ҳароратға боғланишини тўғри чизикли тенглама билан ифодалаб ҳам етарли аниқликка эришиш мумкин, яъни

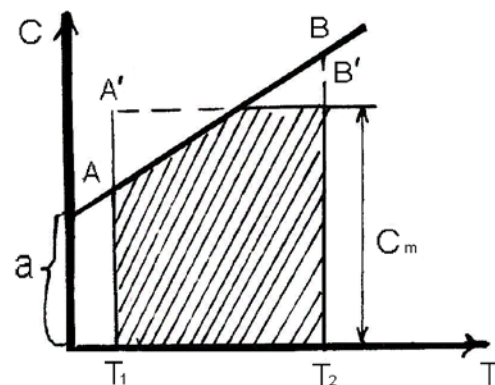
$$c = a + bt$$

Бундай иссиқлик сифими ҳароратға тўғри чизикли боғланган иссиқлик сифими деб юритилади.

Бундай ҳолларда ўртача иссиқлик сифими қуйидаги кўринишға эға бўлади.

$$\bar{c}_m = a + \frac{b}{3} (t_1 + t_2).$$

бу ерда, $\bar{c}_m$ - ҳароратлар оралиғидаги ўртача иссиқлик сифими;



4-шакл

а - газнинг 273 К даги иссиқлик сигими;

в - чизик АВ нинг горизонтал укка киялик бурчагининг тангенци.

Хароратга сифимнинг боғланиши тўғри чизиқли бўлганда ўртача иссиқлик сифимини ҳисоблашнинг бошқа усули ҳам мавжуд. Бунда газни T_1 дан T_2 даражагача қиздириш 2 та даврга бўлиб олинади.

1) 0°C дан $T_2^{\circ}\text{C}$ гача бўлган оралик.

У ҳолда, шу ораликларда сарфланган иссиқлик миқдорлари қуйидагича бўлади.

$$q_1 = C_0^{T_1} m \cdot T_1, \quad q_2 = C_0^{T_2} m \cdot T_2$$

2) T_1 дан T_2 гача ҳарорат оралиғидаги ўртача иссиқлик сифими қуйидагича аниқланади.

$$C_m^{T_2} = \frac{C_0^{T_2} m \cdot T_2 - C_0^{T_1} m \cdot T_1}{T_2 - T_1} \quad (52)$$

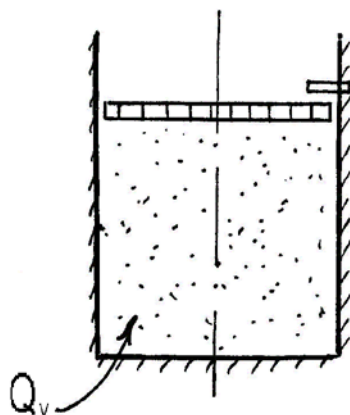
$C_0^{T_1} m$ ва $C_0^{T_2} m$ ларнинг сон қийматлари ҳар хил газлар учун дарслик ва ўқув қўлланмаларда жадвал кўринишида берилган бўлади.

2.4. Ўзгармас ҳажмдаги (c_v) ва ўзгармас босимдаги (c_p) иссиқлик сифимлари

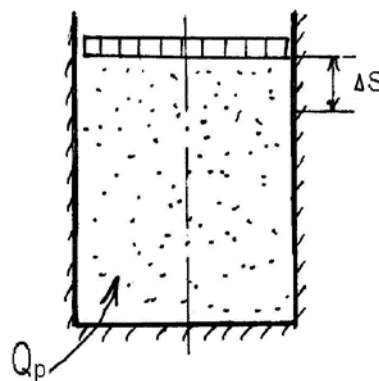
Биз юқорида иссиқлик сифими ҳароратга боғлиқ эканлиги ҳақида фикр юритдик. Энди эса газни қиздириш шароитини ўзгартириб кўрамиз.

5-шаклда ифодаланган цилиндрдаги поршен қўзғалмас қилиб қотирилган, 6-шаклда эса шу поршен эркин ҳаракат қила оладиган ҳолатда кўрсатилган. Иккала ҳолатда ҳам G кг дан бир хил газни T_1 дан T_2 гача қиздирилса, сарфланадиган иссиқлик миқдорларининг тенг бўлмаслигини кўрамиз.

$$Q_p > Q_v, \quad Gc_p(T_2 - T_1) > Gc_v(T_2 - T_1)$$



5-шакл



6-шакл

Бунинг сабаби шуки, 5-шаклдаги шароитда газ қиздирилса газнинг ҳажми ўзгармайди, яъни $\vartheta = \text{const}$. У вақтда берилган иссиқлик миқдори фақат молекулаларнинг кинетик энергиясини орттиришга сарфланади.

6-шаклдаги ҳолатда эса, поршен ҳаракатчан, бу ерда газ қизиши билан бирга ташки иш бажаради ($p=\text{const}$).

Газни иккала ҳолатда иситишдаги сарфланган иссиқлик миқдорларининг фарқи, 6-шаклда (ΔS) поршеннинг газ кенгайишидаги бажарган ишини ифодалайди.

$$Q_p - Q_v = L \quad (53)$$

Бажарилган иш L ни ҳисоблаш учун 6-шаклдаги газнинг босимини ($p=\text{const}$), дастлабки ва кейинги ҳажмларини мос равишда V_1 , V_2 ҳамда бажарган ишини L билан ифодалаймиз. У ҳолда, $L = pV_2 - pV_1$ бўлади.

Маълумки, газ ҳолати тенгламасига асосан,

$$p_1 V_1 = GRT \quad , \quad p_2 V_2 = GRT$$

Шунинг учун,

$$L = GRT_2 - GRT_1 = GR (T_2 - T_1) .$$

Ишнинг олинган қиймати ва Q_p ҳамда Q_v ларнинг қийматларини (53) тенгликка келтириб қўямиз, натижада қуйидаги ифода келиб чиқади.

$$Gc_p (T_2 - T_1) - Gc_v (T_2 - T_1) = GR (T_2 - T_1) , \quad c_p - c_v = R \quad (54)$$

Демак, босим ўзгармагандаги (c_p) ва ҳажм ўзгармагандаги (c_v) масса иссиқлик сиғимларини фарқи шу газнинг газ доимийси R га тенг.

2.5. Идеал газларнинг киломолли иссиқлик сиғимлари

Газларнинг молекуляр кинетик назариясига асосан, идеал газларда киломолли иссиқлик сиғимлари уларнинг турларига боғлиқ бўлмай, фақат газнинг атом сонларига боғлиқ, яъни $\mu c_{O_2} = \mu c_{H_2} = \mu c_{N_2} = \dots = \text{const}$

Хар - хил атомли газларнинг киломолли иссиқлик сиғимларининг таркибий қийматларини эса сақлаб қолиш мумкин (эски, МКГС бирликлар системасида)

1- жадвал

№ Т/н	Газ молекуласидаги атомлар сони	μc_v	μc_p
		Ккал/кмоль·град	ккал/кмоль·град
1.	Бир атомли газлар	3	5
2.	Икки атомли газлар	5	7
3.	Кўп атомли газлар	7	9

1 жадвалдан кўриниб турибдики, газларнинг ўзгармас босимдаги киломолли иссиқлик сиғимлари ўзгармас ҳажмдагидан 2 ккал/кмоль град. га кўпроқ, яъни

$$\mu c_p - \mu c_v = 1,985 = 2 \frac{\text{ккал}}{\text{кмоль град}} \quad (55)$$

1-жадвалдаги сонларни (иссиқлик сиғимларининг қийматларини) СИ бирликлари тизимига келтириш учун, хар бир сонни 4,19 га кўпайтирилса кифоя. Чунки, 1 ккал = 4,1868 кЖ = 4,19 кЖ.

Иссиқлик техникаси ҳисобларида иссиқлик сиғимларининг айирмаси, (54) тенгликдан ташқари, уларнинг нисбатлари ҳам катта аҳамиятга эга, яъни

$$K = \frac{c_p}{c_v} \quad (56)$$

Коэффициент “ K ” нинг сон қийматлари фақат газларнинг атом сонларига боғлиқ. Сон қийматини аниқлаш учун (56) тенгликнинг ўнг томонидаги касрнинг сурат ва махра-жини μ га кўпайтирамиз.

$$K = \frac{\mu \cdot c_p}{\mu \cdot c_v}$$

яъни, киломоль иссиқлик сиғимларининг нисбати ҳосил бўлади.

1 жадвалга асосан, Бир атомли газлар учун $K = \frac{\mu \cdot c_p}{\mu \cdot c_v} = \frac{5}{3} = 1,67$

Икки атомли газлар учун $K = \frac{7}{5} = 1,4$

Уч ва кўп атомли газлар учун $K = \frac{9}{7} = 1,29$

Бу ерда шуни эсда тутиш лозимки, реал газлар учун юқоридаги сонлар бироз ўзгариши мумкин.

Иссиқлик сиғимлари c_p ва c_v ҳароратга боғлиқ бўлгани учун катталиқ K ҳам ўзгарувчандир. Шунинг учун (54) ифодага кўра

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v}$$

3. Газ аралашмаларининг иссиқлик сиғими

Аралашманинг иссиқлик сиғимини аниқлаш учун, унинг таркиби ва аралаш-мани ташкил этувчи ҳар бир газнинг иссиқлик сиғимлари маълум бўлиши керак. Одатда аралашманинг таркиби масаланинг шартда берилган бўлади. Ҳар бир газнинг иссиқлик сиғими эса, газнинг ҳароратига қараб жадвалдан топилади.

Газ аралашмасининг таркиби асосан икки хил усулда берилиши мумкин эканлиги илгари айтиб ўтилган эди. Шунга қараб аралашманинг иссиқлик сиғимини аниқлашда ҳам, икки хил усул бўлади.

а) аралашма таркиби масса улушлари орқали берилган.

$$G_{ap} \cdot c_{ap} = G_1 c_1 + G_2 c_2 + \dots + G_n c_n = \sum_{i=1}^n G_i \cdot c_i$$

Маълумки, $\frac{G_i}{G_{ap}} = g_i$ шунинг учун $C_{ap} = g_1 c_1 + g_2 c_2 + \dots + g_n c_n = \sum_{i=1}^n g_i c_i$

б) аралашма таркиби ҳажм улушлари орқали берилган.

$$V_{ap} \bar{c}_{ap} = V_1 \cdot \bar{c}_1 + V_2 \cdot \bar{c}_2 + \dots + V_n \bar{c}_n = \sum_{i=1}^n V_i \bar{c}_i$$

ёки

$$\bar{c}_{ap} = r_1 \bar{c}_1 + r_2 \bar{c}_2 + \dots + r_n \bar{c}_n = \sum_{i=1}^n r_i \bar{c}_i$$

Чунки, бу ерда

$$r_i = \frac{V_i}{V_{ap}}$$

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Газ аралашмаларининг хоссалари ҳақида тушунча беринг.
2. Газ аралашмасининг таркиби ва аралашманинг ўртача молекуляр массаси ҳақида маълумот беринг.
3. Аралашманинг газ доимийси ва парциал босим тушунчангиз.
4. Иссиқлик сиғими ҳақида тушунча.
5. Ўртача ва ҳақиқий иссиқлик сиғимлари ҳақида маълумот.
6. Ўзгармас ва ўзгарувчан иссиқлик сиғимлари ҳақида тушунча беринг.
7. Ўзгармас ҳажмдаги (c_v) ва ўзгармас босимдаги (c_p) иссиқлик сиғимлари.
8. Идеал газларнинг киломолли иссиқлик сиғимлари.
9. Газ аралашмаларининг иссиқлик сиғими ҳақида маълумот беринг.

Маъруза №4. – 2 соат

Мавзу: Термодинамиканинг биринчи қонуни.

Мақсад: Термодинамик жараёнлар, қайтувчан ва қайтмас термодинамик жараёнлар, термодинамик жараёнда газларни ички энергияси ва ташқи ишини ҳамда термодинамиканинг биринчи қонунини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Асосий тушунчалар.
2. Қайтувчан ва қайтмас термодинамик жараёнлар.
3. Газнинг ички энергияси ва ташқи иши.
4. Термодинамиканинг биринчи қонунининг моҳияти ва унинг математик ифодаси.
5. Газнинг энтальпияси ва энтропияси.

1. Асосий тушунчалар

Агар моддий жисмлар ўзаро ва ташқи муҳит билан механик ҳамда иссиқлик таъсирида бўлсалар, у ҳолда бундай моддий жисмлар тизимини **термодинамик тизим** деб юритилди. Тизим ташқи муҳитдан тўла ажратилган бўлса - ёпиқ, ташқи муҳитдан ажратилмаган бўлса - очик термодинамик тизим бўлади.

Агар термодинамик тизимнинг ҳамма нуқталарида ташқи муҳит билан бир хил босим ва бир хил ҳарорат, вақтга боғлиқ бўлмаган ҳолда сақланса (масалан, хонага олиб кирилган бирон очик идишдаги суюқлик, бир неча соатдан кейин), термодинамик тизим **тенг салмоқли** ҳолатда дейилади. Яъни тизимда вақт давомида ички ва ташқи иссиқлик алмашилиши бўлмайди.

Ишчи жисм (газ, суюклик) тенг салмоқли холатда сақланиши учун ташқи мухитнинг холати ўзгармаслиги керак. Агар масалан, хонанинг харорати ўзгарса, хонадаги идиш ичига қамалган газнинг ҳам харорати аста секин ўзгариб боради, яъни вақт давомида газнинг харорати ўзгаради, газ ҳажми тенг салмоқли холатдан чиқади.

Агар идишдаги газ хонада тураверса, бир қанча вақтдан сўнг ишчи жисм (газ) янги тенг салмоқли холатига келади. Шу янги тенг салмоқли холатига келиши учун сарфланадиган вақт тизимнинг **реакция вақти** дейилади.

Маълумки, газнинг бирор параметри (p, V, T) ўзгариши билан бошқа параметрлари ҳам ўзгаради. Масалан, агар газ қисилса (яъни, ҳажми камайтирилса), унинг босими ва харорати ортади. Натижада газнинг янги термодинамик холати вужудга келади.

Газнинг бир термодинамик холатдан иккинчи термодинамик холатга ўтиши, яъни газ холатини ўзгаришининг кетма - кетлиги **термодинамик жараён** дейилади. Агар термодинамик жараёнда газ кетма - кет тенг салмоқли холатини эгаллаб борса, жараён **тенг салмоқли** дейилади. Вақтнинг ҳар бир пайтида жараён тенг салмоқли холатидан биров фарқ қилса, бундай жараёнлар, **квазистатик жараён**, яъни тенг салмоқли холатига яқин дейилади. Бундай жараёнда газнинг айрим нуқталарида босим ва харорат бир - биридан жуда оз фарқ қилади. Квазистатик жараёнларни амалда учратиш қийин бўлганлиги учун уларни **идеал жараёнлар** дейиш мумкин.

Мавжуд (реал) термодинамик жараёнларда қисиш, кенгайиш, газнинг исиши ва совиши каби холатлар жуда тез бўлади. Натижада газ ҳажмининг ҳар хил нуқталарида босим, харорат ва зичлик ҳар хил қийматга эга бўлади, яъни бундай жараёнларда тенг салмоқли холат бўлмайди. Бундай жараёнлар **тенг салмоқли бўлмаган жараёнлар** дейилади.

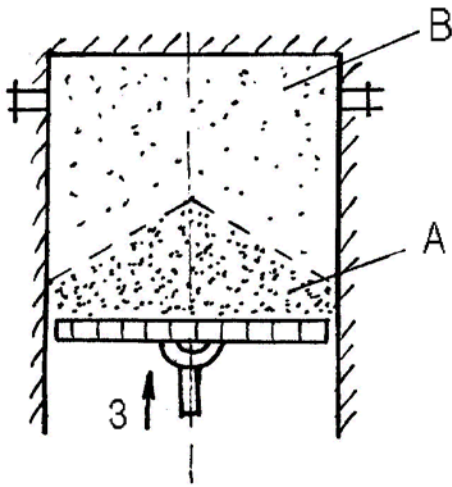
7-шаклда кўрсатилган цилиндрнинг ичидаги газ тенг салмоқли холатда бўлмайди. Газнинг “А” зонасида “В” зонасига қараганда босим, харорат ва зичлик сезиларли даражада фарқ қилиши мумкин. Поршенли ички ёнув двигателларида поршеннинг ҳаракати жуда тез. Демак, шаклда ифодаланган қисиш жараёни тенг салмоқли бўлмаган, яъни **реал жараёндир**.

Газ холатининг ўзгариш жараёнларини ўрганишда газ холатининг асосий тенгламасидаги каби уч ўлчовли график усулдан (яъни босим, ҳажм ва харорат) фойдаланиш мумкин. Фазовий координаталар (p, V ва T) тизимида босим, ҳажм ва харорат орасидаги боғланиш **термодинамик сирт** бўлиб, унинг ҳар бир нуқтаси газнинг бирон бир холатини ифодалайди. Лекин, фазовий координатлар тизимидан фойдаланиш амалда биров қийинчиликларга олиб келади. Шунинг учун, термодинамик жараёнларни чизикли ифодалашда текисликдаги координаталар тизимидан фойдаланилади. Бунда газнинг иккита кўрсаткичи иштирок этади.

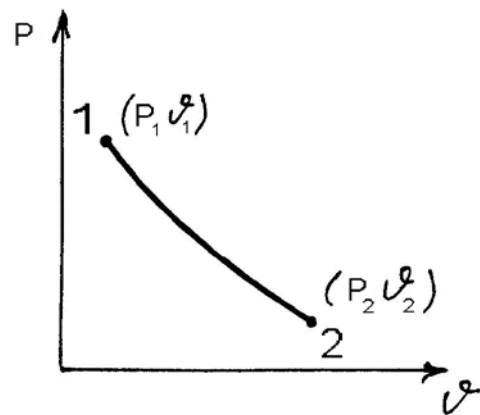
Кўпинча термодинамик жараённинг чизмаси босим билан ҳажмни ўзаро боғловчи координаталар орқали ифодаланади. Бундай система p, V диаграмма деб юритилади.

Масалан, 8-шаклда ифодаланган 1-2 эгри чизик, ишчи жисм (газ)нинг бошланғич (1 нуқта) холатидан, кейинги (2 нуқта) холатига ўзгаришини

ифодалайди. Бу ерда кўриниб турибдики, жараён - кенгайиш жараёни бўлиб, босим p_1 дан p_2 гача камаяди, ҳажм эса $\mathcal{V}_1$ дан $\mathcal{V}_2$ гача ортади.



7-шакл



8-шакл

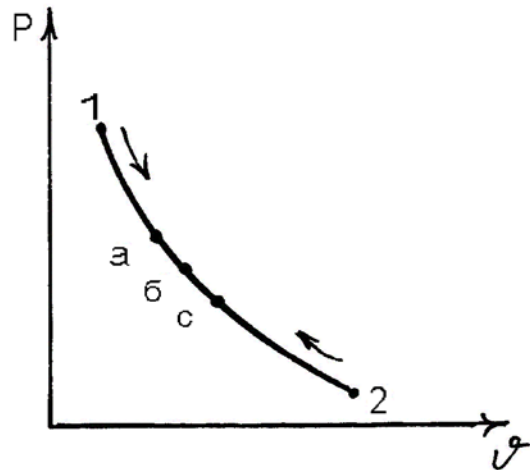
2. Қайтувчан ва қайтмас термодинамик жараёнлар

Ҳамма термодинамик жараёнлар тўғри ва тескари йўналишда бажарилиши мумкин. Шунга кўра, термодинамик жараёнларни ҳам иккига ажратиб, тўғри жараён ёки тескари жараён деб юритилади. p - $\mathcal{V}$ - диаграммасида ихтиёрий термодинамик жараённи ифодалаймиз (9-шакл), бунда 1-2 чизиқ шу жараёнларни ифодалайди. Жараён 1-ҳолатдан 2-ҳолатга томон бораётган бўлса, кенгайиш жараёни (тўғри жараён) бўлади. Бунда ишчи жисм кетма - кет а, б, с каби қатор тенг салмоқли ҳолатларни эгаллаб боради, ҳамда кенгайиш чексиз секин бўлади ва газ ҳолати кўрсаткичларининг қийматлари бир-бирига чексиз якин деб фараз қилинади, яъни газ 1-а-б-с...-2 жараён орқали кенгайиши.

Энди жараёнларни тескари олиб борсак, газ юқоридаги шартларга кўра, чексиз секин қисилиб, кетма-кет тенг салмоқли ҳолатларни ифодалаб, 2 - ... с - б - а - 1 жараёнларни бажаради ва дастлабки ҳолатини эгаллайди. Шундай қилиб, термодинамик тизим тўғри ва тескари жараёнларни бажаргандан сўнг, у тўла дастлабки ҳолатига қайтади. Бундай термодинамик жараёнлар **қайтувчан жараёнлар** деб юритилади.

Табиатда мавжуд бўлган барча жараёнлар **қайтмас жараёнлардир**, чунки ҳеч қандай ҳақиқий жараён юқорида айтиб ўтилган шартларни бажара олмайди. Шунинг учун қайтувчан жараёнларни идеал жараёнлар дейиш мумкин. Реал жараёнлар идеал жараёнларга оз ёки кўпроқ якинлашиши мумкин, лекин ҳеч қачон айнан ўзи бўла олмайди. Иссиқлик техникаси ҳисоблаш-ларида идеал жараёнлар ўрганилади ва қўл-

ланилади. Натижаларга маълум тузатишлар киритилиб, реал (хақиқий) 9-жараёнларга айлантирилади.



шакл

3. Газнинг ички энергияси

Моддий газнинг молекуласи молекуляр кинетик назариясига асосан илгариланма ва айланма ҳаракатда бўлади. Молекула ва атомларнинг массаси ҳамда тезлиги натижаси сифатида микрожисмлар илгариланма кинетик энергия ва айланма кинетик энергияга эга. Демак, идеал газларда ички энергия қуйидагилардан ташкил топади:

- а) молекула илгариланма ҳаракатининг кинетик энергияси;
- б) молекула айланма ҳаракатининг кинетик энергияси;
- в) атомлар айланма ҳаракатининг кинетик энергияси;
- г) молекула ичидаги атомлар тебранма ҳаракатининг кинетик энергияси.

Реал (мавжуд) газларда эса, юқоридагидан ташқари молекулаларнинг ўзаро таъсири натижасида содир бўладиган потенциал энергия ҳам ҳисобга олинади.

Юқорида санаб ўтилган энергияларнинг йиғиндиси газнинг ички энергияси дейилади ва 1 кг газ учун “ u ” билан, ихтиёрий миқдордаги газ учун эса “ U ” орқали ифодаланади, яъни

$$u = u_k + u_n \quad \text{ёки} \quad U = U_k + U_n$$

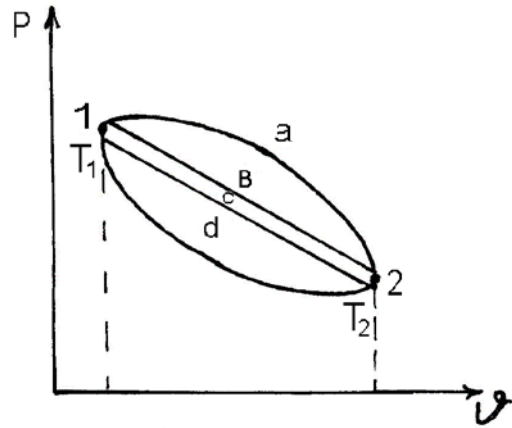
Газ ҳолатининг кўрсаткичлари p , ϑ ва T ўзаро термик тенглама орқали боғланганлиги учун ички энергияни ихтиёрий иккита кўрсаткичларнинг функцияси сифатида кўрсатиш мумкин, яъни

$$u = f(T, \vartheta), \quad u = \vartheta(p, T), \quad u = f(p, \vartheta)$$

Ички энергия газ ҳолатини ифодаловчи катталиқдир, чунки унинг миқдори газ ҳолатининг кўрсаткичларига боғлиқ.

Идеал газларда молекулалар орасидаги ўзаро тортишиш кучи бўлмаганлиги учун ҳажм ва босимнинг ўзгариши ички энергия миқдorigа таъсир қилмайди. Шунинг учун идеал газларда, $u = f(T)$ яъни ички энергия - фақат ҳароратнинг функцияси. Термодинамик жараёнларни ўрганишда ҳам, ҳисоблашларда ҳам, кўпинча ички энергиянинг мутлоқ қиймати эмас, унинг ўзгариш миқдори зарур бўлади.

Маълумки, ички энергиянинг энг кўп ўзгариши $Q = \text{const}$ бўлган жараёнда со-дир бўлади, чунки бунда, хажм ўзгармаганлиги учун ташқи иш бажарилмайди ва берилган иссиқлик миқдори фақат газнинг ички энергиясини орттиришга олиб келади. 1 кг газга берилган иссиқлик миқдори $q = c_v (T_2 - T_1)$ лекин шу билан бирга $q = u_2 - u_1$



10-шакл

У ҳолда ички энергиянинг ўзгариши, $\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$ ёки $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$.

Газ ҳолатининг чексиз кичик ўзгариши учун эса, $du = C_v dT$.

Идеал газларда ички энергиянинг ўзгариши Δu жараённинг бориш ҳаракатига (йўлига) боғлиқ бўлмай, у фақат газнинг охириги ва бошланғич ҳолатларининг ҳароратларига боғлиқ ҳолос.

4. Газнинг ташқи иши

Биз юқорида айтиб ўтганимиздек, фақат бир жараёнда, яъни Q бўлган жараёнда газ ташқи иш бажармайди. Жараёнда газга берилган иссиқликнинг ҳаммаси ички энергияни орттиришга сарф бўлади.

Бундан хулоса шуки, бошқа термодинамик жараёнларда газга берилган иссиқлик миқдори ички энергияни орттирибгина қолмай, ташқи иш бажаришга (яъни ташқи муҳитнинг қаршилигини енгишга) ҳам сарф бўлади.

Маълумки, иш бажарилиши учун энг камида 2 та жисм, энергия қабул қилувчи ва энергия берувчи (йўкотувчи) мавжуд бўлиши шарт. Демак, илгари айтиб ўтганимиздек, **иш - энергия узатилишининг бир шакли бўлиб, ишнинг миқдори берилаётган энергиянинг ўлчови бўлади.**

Агар 11-шаклдаги ҳаракатчан поршенли цилиндрдаги 1 кг газга чексиз кичик миқдордаги dq иссиқлик миқдорини берсак, газ кенгайиб поршен ds масофа йўл юради. Кенгайишида газ $d\ell$ ташқи иш бажаради

Бу иш кучнинг поршен юрган йўлига кўпайтмаси билан ифодаланади.

$$d\ell = p \cdot F \cdot ds$$

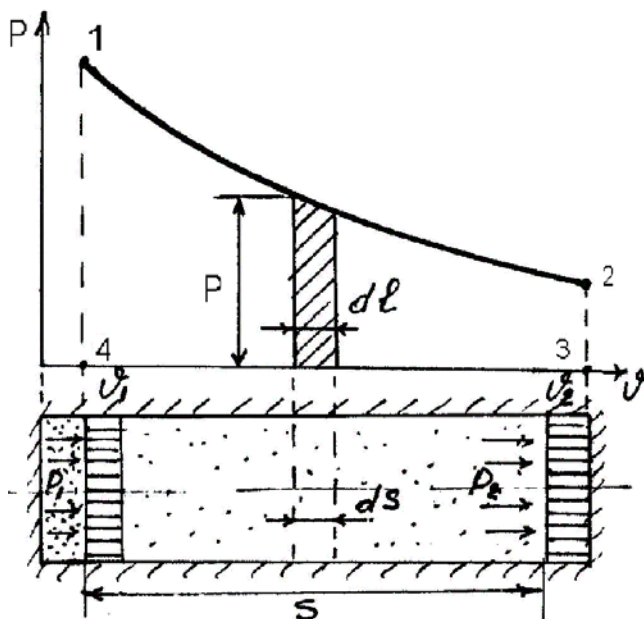
бу ерда, p - газнинг босими, н/м^2 да;

F - поршеннинг (цилиндрнинг) кўндаланг кесим юзаси, м^2 . Маълумки, ҳажмнинг энг кичик орттирмаси $F \cdot ds = d\vartheta$ бўлганлиги учун қуйидаги тенглик келиб чиқади.

$$d\ell = p d\vartheta \quad (57)$$

У холда газнинг ϑ_1 ҳажмдан ϑ_2 ҳажмгача кенгайишидан иборат термодинамик жараёнда бажарилган иш қуйидагича бўлади:

$$\ell = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta \quad (58)$$



11-шакл

11-шаклда ифодаланган $p\vartheta$ диаграммасида жараён чизиғи иккала четки ординаталар ва абцисса ўқи билан чегараланган юза - $S_{1-2-3-4-1}$ маълум масштабда бажарилган ишни ифодалайди.

Бу ерда шуни эсда тутиш керакки, кенгайишдаги ишни мусбат, қисий жараёнидаги ишни эса, манфий деб қабул қилинган (мисолимизда бажарилган иш - мусбат). $p\vartheta$ координаталар тизимида юза - маълум масштабда ишнинг микдорини ифодалайди.

5. Термодинамиканинг биринчи қонунининг моҳияти ва унинг математик ифодаси

Маълумки, иссиқликнинг ишга айланиши (ва аксинча), энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунининг хусусий ҳолидир. Иш ва иссиқликнинг эквивалентлик қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин: **“Маълум Q миқдордаги иссиқликнинг йўқолиши, тўла аниқ миқдордаги механик иш L ни келтириб чиқаради ва аксинча”**.

Шундай қилиб, термодинамик жараёнларда иссиқлик ва механик ҳодисалар орасида алоқа қонунияти мавжуд. **Иссиқлик ва иш орасидаги мана шу ўзаро алоқа термодинамика биринчи қонунининг моҳиятини ташкил қилади.**

Баъзи адабиётларда термодинамиканинг биринчи қонунини, термодинамика-нинг бирламчи бошланиши, деб ҳам айтилади. Бунинг сабаби шуки, бу қонун ҳеч қандай қонун ва тушунчалардан келиб чиқмайди, балки у энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни билан иссиқлик ва ишнинг эквивалентлик, ўзаро алмашилиш қонунларининг қўшилишидир.

Биринчи қонунга асосан, бир жинсли абадий двигател, яъни сарфланган энергияга нисбатан кўпроқ энергия берадиган двигател яратиш мумкин эмас.

Қуйидаги термодинамик жараёнда газга бериладиган иссиқлик нималарга сарф бўлишини умумий ҳолда кўриб чиқамиз.

Қўзғалувчан поршенли цилиндрга солинган 1 кг газга, маълум микдордаги q иссиқликни берсак (12-шакл), унинг ҳарорати ортади, яъни газ қизийди. Демак, газ молекулаларининг ҳаракати тезлашади.

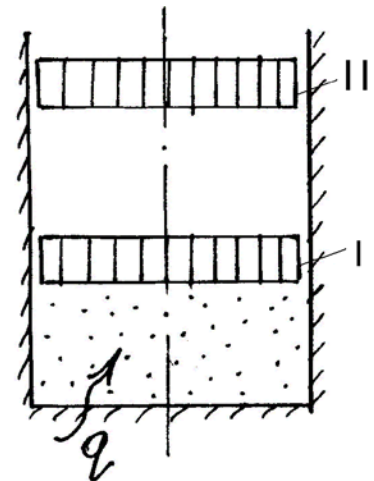
Молекуланинг илгариланма ва айланма ҳаракатининг кинетик энергияси, ҳамда молекула ички тебраниш энергияси ҳам ортади. Натижада газнинг ички кинетик энергияси ортади. Цилиндрдаги поршен қўзғалувчан бўлганлиги учун газнинг исиши натижасида поршен юқорига кўтарилади (поршен II-ҳолатни олади).

Газнинг кенгайиши сабабли молекулалар орасидаги ўртача масофа узаяди, бу эса молекулалар орасидаги тортиш кучидан келиб чиқадиган ички потенциал энергияни Δu га камайтиради. Шу жараён учун энергия баланси қуйдагича $q = \Delta u_k + \Delta u_n + \ell$,

ℓ - поршенни ҳаракатлантириш учун сарфланган иш.

Ички энергиянинг умумий ўзгаришини Δu билан белгилаймиз.

$$\Delta u = \Delta u_k + \Delta u_n \quad \text{у ҳолда,} \quad \underline{q = \Delta u + \ell} \quad (59)$$



12-шакл

Бу термодинамика биринчи қонунининг математик ифодаси бўлиб, ҳар қандай термодинамик жараёнда газга берилган иссиқлик, унинг ички энергиясини орттиришга ва ташқи ишни бажаришга сарф бўлишини кўрсатади.

Чексиз кичик термодинамик жараён учун (56) тенгликни ўзгартириш мумкин.

$$dq = du + d\ell \quad (60)$$

Илгари айтиб ўтганимиздек, $du = c_v dT$ ва $d\ell = p d\vartheta$ бўлгани учун

$$dq = c_v dT + p d\vartheta \quad (61)$$

Охирги ифода - **термодинамика биринчи қонунининг дифференциал тенламаси** дейилади.

(61) тенгламадаги $p \cdot d\vartheta$ ўрнига $d(p\vartheta) - \vartheta dp$ ифодани алмаштириш мумкин, чунки

$$d(p\vartheta) = p d\vartheta + \vartheta dp$$

Демак,

$$dq = c_v dT + d(p\vartheta) - \vartheta dp \quad (a)$$

Кейинги математик ўзгартиришларни бажариш учун газ ҳолати тенгламасини 1кг газ учун ёзамиз, $p\vartheta = RT$. Уни дифференциаллаймиз, $d(p\vartheta) = R dT$ ва $d(p\vartheta)$ қийматини (a) тенгликка келтириб қўямиз, яъни

$$dq = c_v dT + R dT - \vartheta dp \quad \text{ёки} \quad dq = (c_v + R) dt - \vartheta dp$$

Маълумки, $c_p - c_v = R$ ёки $c_p = R + c_v$. Шунинг учун

$$dq = c_p dT - \vartheta dp \quad (62)$$

6. Газ энтальпияси

Фараз қилайлик, қўзғалувчан поршенли цилиндрга 1кг ишчи жисм (газ) тўлдирилган (13-шакл). Цилиндр ичидаги газнинг босими “ p ” мухит босимидан юқори. У холда поршен кўтарилиб кетмаслиги учун (мувозанатлаш учун) бирор юк қўйиш керак бўлади. Унинг оғирлиги $G = p \cdot F$ бўлиши керак. Бу ерда F - цилиндрнинг кўндаланг кесим юзаси.

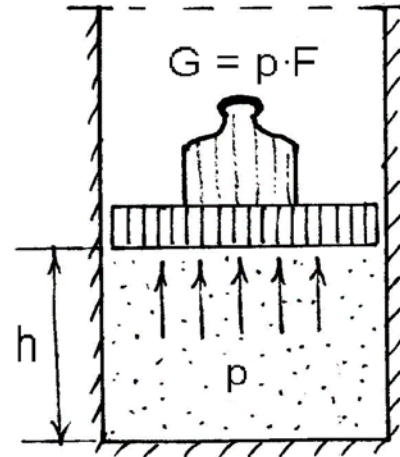
Юкни мувозанат холатда ушлаб турган газнинг потенциал энергияси қуйидагича бўлади $G \cdot g \cdot h = p \cdot F \cdot g \cdot h = pV$, чунки $g = F \cdot h$. бу ерда g - тортиш кучининг эркин тушиш тезланиши.

Ушбу мисолимиздаги газнинг тўла энергияси қуйидагича бўлади:

$$i = u + p\vartheta \quad (63)$$

бу ерда, $p\vartheta$ - кўпайтма ϑ ҳажмдаги газни туртишдаги бажарган иши бўлиб, шу ϑ ҳажм микдоридаги мухитни туртиб бўшатишга сарф бўлади, яъни ϑ ҳажмдаги газ мухитга чиқиши учун унга шунча ҳажмдаги мухит керак. $p\vartheta$ кўпайтма, газнинг туртиш иши ёки газ босимининг потенциал энергияси деб юритилади.

Газнинг тўла энергияси i - газнинг **энтальпияси** деб юритилади. Бу энергия газ ҳолати кўрсаткичларининг функциясидир. Шунинг учун, энтальпия i ҳам газ ҳолатини белгиловчи катталик бўлиб ҳисобланади.



13-шакл

Энди энтальпиянинг сон қийматини аниқ-лаймиз. Маълумки, ички энергиянинг абсалют қиймати $u = c_v \cdot T$. Газ ҳолати тенгламаси эса 1 кг газ учун $p\vartheta = RT$.

$$i = c_v T + RT = (c_v + R)T = c_p T, \quad i = c_p T \quad (63a)$$

Демак, газ энтальпиясининг сон қиймати, газ ҳароратини мутлоқ ноль даражадан T даражагача ўзгармас босимда қиздириш учун сарфланган иссиқлик микдorigа тенг.

Энтальпиянинг ўлчов бирлигини аниқлаймиз, $i = c_p \left[\frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right] \cdot T [\text{К}]$, демак

$i = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \right]$ Газ энтальпиясининг физик маъносини тушуниш учун мисол

келтирамиз. Масалан, бирор газ учун энтальпиянинг қиймати $i = 1500 \text{ Ж/кг}$ бўлса, буни шундай тушуниш керак. Демак, шу газнинг ҳар бир килограммида 1500 Ж энергия мавжуд. Бошқача қилиб айтганда, газ энтальпияси ҳолат параметри бўлиб, у газ таркибидаги энергия микдорини ифодалайди.

Термодинамик жараён учун ишчи жисм (газ) энтальпиясининг ўзгаришини ёзамиз.

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p \cdot T_2 - c_p \cdot T_1 = c_p (T_2 - T_1)$$

Демак, энтальпиянинг ўзгариш микдори ҳам ички энергия ўзгариши каби, ҳар қандай термодинамик жараён учун бир хил ифода билан аниқланади, яъни

$$\Delta i = c_p (T_2 - T_1) \quad (64)$$

7. Газ энтропияси

Юқорида кўриб ўтганимиздек, p , ϑ , T , u ва i газ ҳолатининг параметрлари (кўрсаткичлари) бўлиб ҳисобланади. Лекин иссиқлик миқдори q ва иш ℓ газ ҳолати кўрсаткичлари бўла олмайди.

Хар қандай термодинамик жараёнда қатнашадиган иссиқлик миқдорини билиш нуктаи - назаридан термодинамикада яна бир газ ҳолатининг кўрсаткичи - **энтропия** киритилган.

Фараз қилайлик, бошланғич ва охириги ҳолатига эга бўлган идеал газ қайтувчан термодинамик жараёни бажармоқда. Жараён давомида газнинг ҳарорати ўзгариб туради.

Агар жараёни чексиз кичик ва бир-бирига чексиз яқин бўлақларга бўлсакда, ҳар бир бўлақда dq иссиқлик берилади деб олсак. Бунда биз чексиз кичик жараён оралиғида газнинг ҳарорати деярли ўзгармайди дейишимиз мумкин.

Чексиз кичик жараёнда газга берилган иссиқликни газнинг мутлоқ ҳароратига нисбатини **келтирилган иссиқлик** деб атаймиз ва ds билан белгилаймиз, яъни:

$$\frac{dq}{T} = ds \quad (65)$$

Бу ифодадан чексиз кичик жараёнда газга берилган иссиқликни аниқлаш мумкин.

$$dq = T \cdot dS \quad (66)$$

Маълумки, газнинг термодинамик ҳарорати “ T ” доимо мусбат қийматга эга, шунинг учун, охириги олинган тенгликка қараб фикр юритиш мумкин. Агар газга иссиқлик берилса, энтропия ортади (яъни энтропиянинг орттирмаси мусбат) ва аксинча, газдан иссиқлик олинса, энтропия ҳам камаяди.

Энтропияни аниқлашда бошқа йўл тутиш ҳам мумкин. Бунинг учун термодинамика биринчи қонунининг дифференциал кўринишдаги тенгламаси

$$(60) \text{ ни } T \text{ га бўламиз, яъни } \frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + \frac{p \cdot \vartheta}{T}$$

Газ ҳолати тенгламаси $p \vartheta = RT$ ни қуйидагича ўзгартирамиз $\frac{p}{T} = \frac{R}{\vartheta}$ ва юқоридаги тенгламага қўямиз.

$$\frac{dq}{T} = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\vartheta}{\vartheta} \quad \text{ёки} \quad ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{R d\vartheta}{\vartheta} \quad (67)$$

Бу катталик, газнинг ҳар бир ҳолати учун аниқ қийматга эга бўладиган газ ҳолатининг маълум функцияси бўлиб, термодинамикада **энтропия** дейилади.

Демак, энтропия - маълум функция “ S ”нинг тўла дифференциали бўлиб, у фақат газ ҳолатининг кўрсаткичларига боғлиқ. Шунинг учун энтропиянинг ўзи ҳам газ ҳолатининг кўрсаткичи бўлиб ҳисобланади.

Энтропиянинг мутлоқ қиймати термодинамикада унчалик аҳамиятсиз, ўзгариши эса катта аҳамиятга эга, чунки юқорида айтиб ўтганимиздек, энтропиянинг ўзгариши жараён давридаги газга берилаётган (ёки олинаётган)

иссиқлик миқдорини тўла характерлайди. Шунинг учун термодинамикада ишчи жисм энтропиясининг ўзгариши аниқланади.

$$\Delta S = S_2 - S_1 = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + R \int_{g_1}^{g_2} \frac{dg}{g}$$

ёки

$$\Delta S = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (68)$$

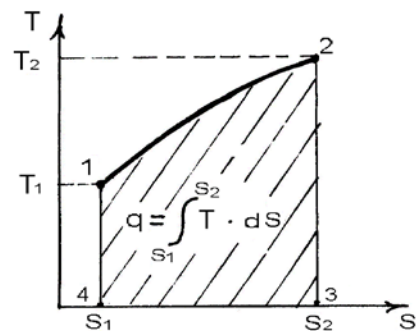
8. « Ts » - диаграммаси

Термодинамик жараёнларни «p g» диаграммада ифодалаш билан бир қаторда «Ts» диаграммасида ифодалаш ҳам жуда қулай ва тушунарлидир. Бунда абсисса ўқиға маълум масштабда энтропиянинг қиймати, ордината ўқиға эса термодинамик ҳароратнинг қийматлари қўйилади.

Агар газ 1- ҳолатидан 2-ҳолатга ўтишда $T=f(s)$ эгри чизиғи орқали борилган бўлса, у ҳолда

$$dq = T \cdot ds \quad \text{ва} \quad q = \int_{s_1}^{s_2} T ds \quad (69)$$

Демак, бундан кўриниб турибдики, «Ts» диаграммада жараённи кўрсатувчи эгри чизиқ, бошланғич ва охириги ҳолатлар орқали ўтган иккала ординатлар ва абсисса ўқи билан чегараланган юза 1-2-3-4-1 маълум масштабда жараёнда қатнашган иссиқлик миқдори (q) ни ифодалайди.



14-шакл

Шунинг учун термодинамик жараёнларни бундай координатларда ифодалашни «Ts» диаграмма ёки иссиқлик диаграммаси (юза иссиқлик миқдорини ифодалагани учун) дейилади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Термодинамик жараён ҳақида маълумот беринг.
2. Термодинамик тизим ҳақида тушунчангиз?.
3. Очик ва ёпиқ термодинамик тизимлар.
4. «pv» диаграммаси нима?
5. Газнинг ички энаргияси ва иашқи иши.
6. Термодинамиканинг биринчи қонунининг моҳияти ва математик ифодаси.
7. Газ энтальпияси ва энтальпияси.
8. «TS» диаграммаси.

Маъруза №5. – 2 соат

Мавзу: Асосий термодинамик жараёнлар.

Мақсад: Асосий термодинамик жараёнларни, уларда бажарилган иш ва улар амал қиладиган қоидаларни ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Жараёнларни ўрганишдаги асосий қоидалар.
2. Изохора жараёни.
3. Изобара жараёни.
4. Изотерма жараёни.
5. Адиабата жараёни.
6. Политропа жараёни.

1. Жараёнларни ўрганишдаги асосий қоидалар

Термодинамикада катта роль ўйновчи ва ўзгариш амалий аҳамиятга эга бўлган асосий термодинамик жараёнлар қуйидагилар:

1. Ўзгармас ҳажмли (изохора) жараёни;
2. Ўзгармас босимли (изобара) жараёни;
3. Ўзгармас ҳароратли (изотермик) жараёни;
4. Ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайдиган (адиабата) жараёни;
5. Ихтиёрий, умумий (политроп) жараёни.

Жараёнларни ўрганиш икки йўналишда олиб борилади:

1. Ишчи жисм кўрсаткичларининг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш;
2. Ҳар бир жараёнда ишчи жисм ҳолатининг кўрсаткичларига қараб энергиянинг бошқа тур энергияга айланишидаги хусусиятларини аниқлаш.

Юқоридаги талабларни ҳисобга олган ҳолда ҳар бир термодинамик жараён қуйидаги кетма-кетликда таҳлил қилинади:

1. Термодинамика биринчи қонунининг математик ифодаси ва газ ҳолати тенгламаси

асосида термодинамик жараённинг тенгламаси келтириб чиқариш;

2. Жараённинг тенгламаси бўйича “ p ” ва “ T ” диаграммаларини чизиш;
3. Жараёнда газ ҳолати кўрсаткичлари орасидаги боғланишни аниқлаш;
4. Жараёнда ички энергиянинг ўзгаришини аниқлаш;
5. Жараёнда газнинг бажарган ишини ҳисоблаш;
6. Жараёни бажариш учун газга бериладиган (ёки олинадиган) иссиқлик миқдорини

аниқлаш;

7. Жараёнда иссиқликнинг қандай тақсимланишини ўрганиш учун газнинг ички энергиясини ўзгартиришга сарф бўладиган иссиқликнинг қисмини $\alpha = \frac{\Delta u}{q}$

ҳисоблаш.

8. Жараёнда энтропия ўзгаришини ҳисоблаш.

2. Ўзгармас ҳароратли (изохора) жараёни

Ишчи жисмнинг ҳажми ўзгармас ҳолда бажариладиган термодинамик жараён - **изохора жараёни** дейилади.

- 1) Жараёнинг тенгламаси $V = \text{const}$

2) Жараёнинг p ва Ts диаграмаларидаги тасвири 15 ва 16-шаклларда кўрсатилган.

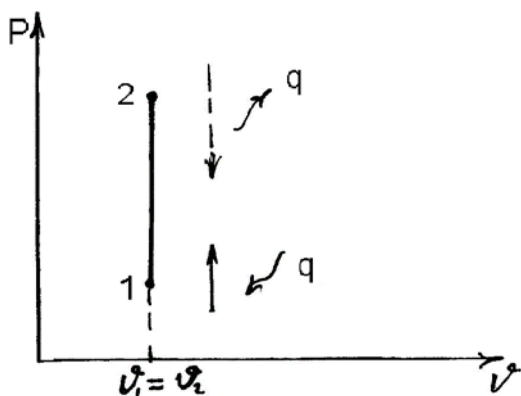
3) Кўрсаткичлар орасидаги боғланишни аниқлаш учун газнинг дастлабки ва охириги ҳолати учун ҳолат тенгламаларини ёзамиз.

$$p_1 \vartheta_1 = RT_1 \quad \text{ва} \quad p_2 \vartheta_2 = RT_2$$

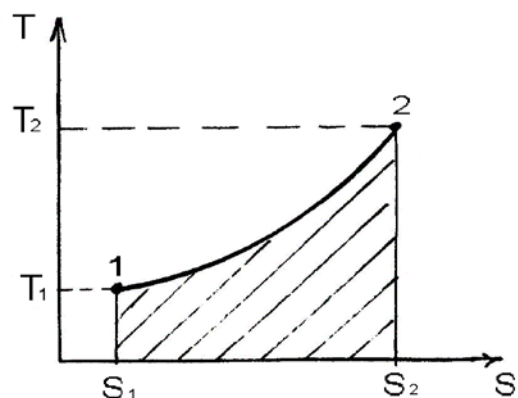
изохора жараёни учун $\vartheta_1 = \vartheta_2 = \text{const}$ эканлиги ҳисобга олган ҳолда, охириги иккала тенгламани ўзаро бўлиб, қуйидагини ҳосил қиламиз.

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

Демак, газнинг босими унинг термодинамик ҳароратига пропорционал равишда ўзгаради.



15-шакл



16- шакл

4) Ички энергиянинг ўзгариши

$$\Delta u = c_v (T_2 - T_1) \quad \text{ёки} \quad du = c_v dT$$

5) Жараёнда бажарилган иш $\ell = \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta$

бу ерда, $\vartheta = \text{const}$ бўлганлиги учун $d\vartheta = 0$ бўлади. Демак, $\ell = 0$, яъни изохора жараёнида газ ташки иш бажармайди. Ушбу хулосани 16-шаклда кўриш мумкин. Графикда ишни ифодаловчи юза нолга тенг.

6) Жараёнда газга берилган (ёки олинган) иссиқликни аниқлаш учун термодинамика биринчи қонунининг тенгламасини ёзамиз.

$$q = \Delta u + \ell$$

изохора жараёни учун $\ell = 0$ бўлгани учун $q = \Delta u = c_v (T_2 - T_1)$, яъни изохора жараёнида газга берилган иссиқликнинг барчаси газнинг ички энергиясини ортиши (камайтириш)га сарф бўлади.

7) α нинг қийматини ҳисоблаймиз. $\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{q}{q} = 1$

8) Жараёнда энтропиянинг ўзгаришини (66) тенглик орқали аниқлаш мумкин.

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta}$$

Бажарилган ишни бошқачарок ифодалаш ҳам мумкин. Бунинг учун $p\vartheta = RT$ тенгламани ҳисобга олган ҳода (72) тенгликка математик ўзгартиш киритамиз, яъни

$$\ell = p(\vartheta_2 - \vartheta_1) = p\vartheta_2 - p\vartheta_1 = RT_2 - RT_1 = R(T_2 - T_1)$$

демак,

$$\ell = R(T_2 - T_1) \quad (73)$$

б) Жараёнда газга берилган иссиқликни термодинамика биринчи қонунининг тенгламаси орқали аниқлаймиз $q = \Delta u + \ell$ ёки (73) тенгликни ва Δu нинг қийматини ҳисобга олганда

$$q = c_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) = (c_v + R)(T_2 - T_1)$$

Илгари кўриб ўтганимиздек, $c_p - c_v = R$ эди. Тенгликни ўзгартирсак, $c_v + R = c_p$ бўлади. Шунинг учун

$$q = c_p(T_2 - T_1) \quad (74)$$

Изобара жараёнидаги иссиқлик (q)ни энтальпияларнинг қийматлари орқали ҳам ифодалаш мумкин:

$$q = \Delta u + \ell$$

бу ерда, $\Delta u = u_2 - u_1$ ва $\ell = p(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ бўлгани учун

$$q = u_2 - u_1 + p(\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad \text{ёки} \quad q = u_2 - u_1 + p\vartheta_2 - p\vartheta_1$$

Бир хил индексли катталикларни гуруҳлаймиз $q = (u_2 + p\vartheta_2) - (u_1 + p\vartheta_1)$, $i = u + p\vartheta$ бўлганлиги учун

$$q = i_2 - i_1 \quad (75)$$

Демак, изобара жараёнида газга берилган иссиқлик бошланғич ва охириги ҳолатдаги энтальпияларнинг айирмасига тенг.

7) Изобара жараёни учун α нинг қиймати қуйидагича:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{K} \quad (76)$$

Демак, изобара жараёнида газга берилган иссиқликнинг $\frac{1}{K}$ хиссаси ёки бошқача қилиб айтганда, $100/K$ проценти, газнинг ички энергиясининг ортишига сарф бўлади.

8) Энтропиянинг ўзгариш қуйидагича аниқланади:

$$ds = \frac{dq}{T} = c_p \frac{dT}{T}$$

чунки, $dq = c_p dT$ га тенг эди. Тенгликни T_1 дан T_2 оралиқда интегралласак,

$$s_2 - s_1 = c_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (77)$$

Энтропиянинг Δs нинг ўзгаришини изобара жараёни учун бошқача усулда ҳисоблаш ҳам мумкин. Бунинг учун (67) тенгликдан фойдаланамиз.

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\vartheta}{\vartheta}$$

Изобара жараёни учун кўрсаткичлар орасидаги қуйидаги боғланишни ҳисобга олсак,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

$$\Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = (c_v + R) \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ёки

$$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \text{чунки } c_v + R = c_p.$$

Изобара чизиғи Ts диаграммасида абцисса ўқига маълум қияликдаги логарифмик эгри чизиқ бўлади. Қиялик бурчаги $\tan \beta = \frac{T}{c_p}$ га тенг бўлади. Агар

Ts диаграммасидаги изохора чизиқлари билан изобара чизиқларини таққосласак, мос равишда қуйидаги қиялик бурчакларини кўрамиз,

$$\tan \gamma = \frac{T}{c_v} \quad \text{ва} \quad \tan \beta = \frac{T}{c_p}.$$

Бир хил ҳароратларда, изохаранинг изобарага нисбатан ўққа қиялиги каттароқ бўлади, яъни изохора чизиғи тикроқ кўтарилиб боради (16 ва 18-шакллар таққослаб кўрилсин).

Ҳароратнинг изохора жараёнида тез (нисбатан кескинроқ) кўтарилишининг асосий сабаби - бу жараёнда газга берилган иссиқликнинг барчаси ички энергияни орттиришга, яъни газ ҳароратини кўтаришга сарфланади.

4. Ўзгармас ҳароратли (изотерма) жараёни

Ишчи жисм ҳарорати ўзгармас ҳолда бажариладиган ҳар қандай термодинамик жараён - **изотерма** дейилади.

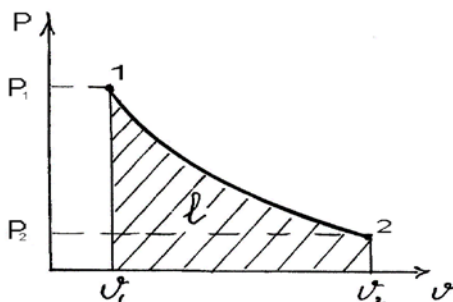
1) Жараённинг тенгламаси $p \vartheta = \text{const}$.

2) Жараённинг бажарилиш шарти эса $T = \text{const}$.

Жараённинг $p \vartheta$ диаграммадаги ифодаси логарифмик эгри чизиқ. Ts диаграммасида эса абцисса ўқига параллел бўлган чизиқдир. (19 ва 20-шакллар).

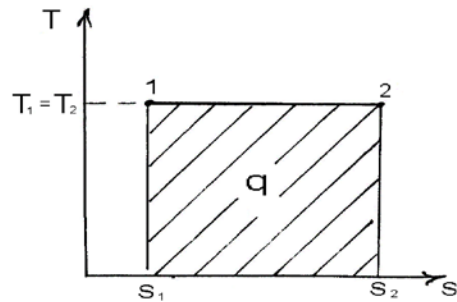
3) Кўрсаткичлар орасидаги боғланишни жараённинг тенгламасидан аниқлаш

мумкин, яъни $p_1 \vartheta_1 = p_2 \vartheta_2 = \text{const}$ ёки $\frac{p_1}{p_2} = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$ (78)



19-шакл

20-



шакл

Демак, жараёнда ишчи жисмнинг босими, унинг солиштирма ҳажмига тескари пропорционал боғланган.

4) Газнинг бажарган ташқи ишини аниқлаймиз.

$$\ell = \int_{g_1}^{g_2} p d g$$

Газ ҳолати тенгламасидан босимни қийматини аниқлаймиз ва ишнинг тенгламасига келтириб қўямиз, яъни $p g = RT$, $p = \frac{RT}{g}$ дан

$$\ell = \int_{g_1}^{g_2} p d g = \int_{g_1}^{g_2} \frac{RT}{g} d g = RT \int_{g_1}^{g_2} \frac{d g}{g} = RT \ln \frac{g_2}{g_1}$$

чунки, $RT = \text{const}$ бўлгани учун

$$\ell = RT \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (79^a) \quad \text{ёки} \quad \ell = 2,3 RT \lg \frac{p_1}{p_2} \quad (79)$$

Жараёнда газ ички энергиясининг ўзгариши нолга тенг бўлади $\Delta u = 0$. Чунки, $T_1 = T_2 = \text{const}$.

6) Жараёнда газга бериладиган иссиқликни аниқлаймиз, бу ерда $\Delta u = 0$ бўлгани учун

$$q = \ell = RT \ln \frac{g_2}{g_1} \quad (80)$$

7) Охирги тенгликдан кўриниб турибдики, изотерма жараёнида газга бериладиган иссиқликнинг барчаси иш бажарилишига сарф бўлади. Газнинг ички энергияси бу жараёнда ўзгармайди.

8) Газга жараёнда иссиқлик берилар экан, демак унинг энтропияси ҳам ўзгаради (ортади), (67) тенгликка асосан

$$\Delta s = c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + R \int_{g_1}^{g_2} \frac{d g}{g}$$

Ушбу жараён $dT=0$, яъни $T = \text{const}$ бўлганлиги учун

$$\Delta s = s_2 - s_1 = R \ln \frac{g_2}{g_1} = R \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (81)$$

5. Ташқи мухит билан иссиқлик алмашмайдиган (адиабата) жараёни

Ишчи жисм билан ташқи мухит орасида иссиқлик алмашмайдиган ҳар қандай ҳолат ўзгаришидаги термодинамик жараён - **адиабата** дейилади.

Бу жараёни идеал жараён дейиш мумкин, чунки ҳақиқий (мавжуд) жараёнларнинг барчасида ҳам оз ёки кўп миқдорда ташқи мухит билан иссиқлик алмашилиш ҳоллари содир бўлади.

Амалда адиабата жараёнига яқин келадиган жараёнлар - ўта тез содир бўладиган жараёнлар бўлиб, уларда ишчи жисм ташқи мухит билан иссиқлик алмашилиб улгура олмайди, яъни жараён қанчалик тез (оний) содир бўлса, у шунча адиабатага яқинлашган бўлади. Жараён тенгламасини келтириб чиқарамиз. Жараёнинг бажарилиш шарти эса $dq=0$. Термодинамика биринчи қонунининг математик ифодаси дифференциал кўринишда,

$$dq = c_v dT + p d\vartheta \quad \text{ёки (59) тенгликка асосан} \quad dq = c_p dT - \vartheta dp$$

Иккала тенгликда ҳам $dq=0$ бўлгани учун

$$c_v dT + p d\vartheta = 0$$

$$c_p dT - \vartheta dp = 0$$

ёки

$$c_v dT = -p d\vartheta$$

$$c_p dT = \vartheta dp$$

Иккинчи тенгликни биринчи тенгликка (қўямиз) бўламиз.

$$\frac{c_p}{c_v} = -\frac{\vartheta}{p} \cdot \frac{dp}{d\vartheta}$$

$$K = \frac{c_p}{c_v} \quad \text{бўлгани учун} \quad K = -\frac{\vartheta \cdot dp}{p \cdot d\vartheta}$$

баъзи бир ўзгартиришлардан сўнг

$$-K \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{dp}{p}$$

Охирги тенгликни интеграллаймиз ва қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$-K \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p}$$

Тенгликни чап томонидаги коэффициент “K” ни ишорасини ҳисобга олган ҳолда логарифм белгиси остига киритамиз.

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \left(\frac{\vartheta_1^K}{\vartheta_2^K} \right)$$

Математик курсидан маълумки, агар икки соннинг логарифмлари ўзаро тенг бўлса, уларнинг ўзлари ҳам бир-бирига тенг бўлади. Шунга кўра

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\vartheta_1^K}{\vartheta_2^K}$$

ёки охирги тенгликдан ёзиш мумкинки,

$$p_1 g_1^K = p_2 g_2^K = \dots = p_n g_n^K = \text{const}$$

Шундай қилиб, адиабата жараёнининг тенгламаси умумий ҳолатда қуйидагича бўлади.

$$p g^K = \text{const} \quad (82)$$

Адиабата жараёнининг $p g$ диаграммадаги ифодаси гипербола чизиғи билан, $T s$ диаграммада эса вертикал (ордината ўқиға параллел) чизиқ билан ифодаланади (21 ва 22-шакл).

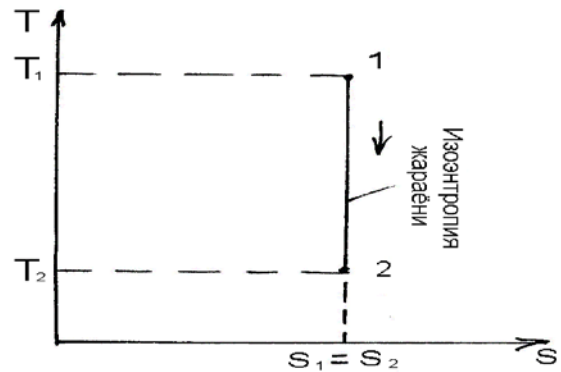
Жараёнда газ кўрсаткичлари орасидаги боғланиш:

а) босим ва солиштирма ҳажм орасидаги боғланишни жараённинг тенгламасидан оламиз:

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^K \quad \text{ёки} \quad \frac{g_1}{g_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (83)$$



21-шакл



22-шакл

б) ҳарорат ва солиштирма ҳажм орасидаги боғланишни аниқлаш учун жараёндан газнинг бошланғич ва охири ҳолатларини характерловчи тенгламаларни ёзиб, уларни ўзаро бўламиз,

$$p_1 g_1 = R T_1 \quad \text{ва} \quad p_2 g_2 = R T_2$$

$$\text{ва} \quad \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{g_1}{g_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (A)$$

Охири (A) тенгликка p_1/p_2 нисбатнинг қийматининг (83) тенгликдан келтириб қўямиз.

$$\left(\frac{g_2}{g_1} \right)^K \cdot \frac{g_1}{g_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Соддалаштирамиз

$$\left(\frac{g_2}{g_1} \right)^{K-1} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{ёки} \quad \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{K-1}} = \frac{g_2}{g_1} \quad (84)$$

в) ҳарорат билан босим орасидаги боғланишни аниқлаш учун (A) тенгликка g_1 / g_2 нисбатнинг қийматини (83) тенгликдан келтириб қўямиз.

$$\frac{p_1}{p_2} \cdot \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{K}} = \frac{T_1}{T_2}$$

Соддалаштирамиз $\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{K-1}{K}} = \frac{T_1}{T_2}$ ёки $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{K}{K-1}}$ (85)

Ички энергиянинг ўзгариши юқорида кўриб ўтилган термодинамик жараён каби бўлади, яъни

$$\Delta u = u_1 - u_2 = c_v(T_2 - T_1)$$

жараёнда газнинг бажарган ташқи ишини аниқлаш учун термодинамика биринчи қонунининг математик ифодасидан фойдаланамиз $dq = du + d\ell$.

Адиабата жараёнида $dq=0$ бўлгани учун $d\ell = -du = -c_v dT$.

Охирги тенгликни интеграллаймиз $\ell = -\int_{T_1}^{T_2} c_v dT = -c_v(T_2 - T_1) = c_v(T_1 - T_2)$.

Тенгликдаги c_v нинг қийматини қуйидаги кўринишда ўзгартирамиз. Маълумки, $c_p - c_v = R$ ва $\frac{c_p}{c_v} = K$ эди. Демак, $c_p = c_v \cdot K$ ёки $c_p K - c_v = R$, $c_v(K - 1) = R$,

$c_v = \frac{R}{K - 1}$ бўлади. Энди c_v нинг қийматини иш тенгламасига келтириб қўямиз ва қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$\ell = \frac{R}{K - 1}(T_1 - T_2) \quad (86)$$

Газ ҳолати тенгламасидан фойдаланиб охирги тенгликнинг кўринишини ўзгартириш мумкин, яъни тенгликдаги қавсни ва кўпайтмалар ўрнига p ва ϑ кўпайтмаларини қўямиз.

$$\ell = \frac{1}{K - 1}(p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2) \quad (87)$$

Агар охирги тенгламадаги $p_1 \vartheta_1$ ни қавс ташқарисига чиқарсак ва жараёндаги кўрсаткичлар орасидаги боғланишлардан фойдаланиб, тенгламага математик ўзгар-тишлар киритсак, адиабата жараёнида бажарилган иш учун яна бир тенглама ҳосил қиламиз:

$$\ell = \frac{p_1 \vartheta_1}{K - 1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right] = \frac{p_1 \vartheta_1}{K - 1} \left[1 - \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^{K-1} \right] \quad (88)$$

Адиабата жараёнида газга ташқаридан иссиқлик берилмагани учун ишчи жисмнинг бажарган иши ички энергиянинг камайиши ҳисобига бўлади, яъни газ ташқи иш бажариши учун унинг ички энергияси камайиши керак.

Газ ички энергиясини ўзгартириш учун сарфланадиган иссиқликнинг қисми, бу жараён учун қуйидагича бўлади.

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{\Delta u}{0} = \infty$$

Адиабата жараёнида $dq=0$ бўлгани учун, энтропия ўзгармайди. Шунинг учун, адиабата жараёни, баъзи ҳолларда “изоэнтропия” жараёни ҳам деб юритилади. Буни 23-шаклдан ҳам осонгина тушуниш мумкин. Жараённинг тенгламасидаги

даража кўрсаткичи - “К” адиабата кўрсаткичи дейилади. Унинг сон қиймати газнинг турига боғлиқ бўлмай, фақат газ молекуласининг атом сонига боғлиқ.

6. Умумий (политроп) жараёнлар

Юқорида кўриб чиқилган 4 та термодинамик жараённинг ҳар бири учун бажарилиш шarti мавжуд эди. Масалан, ҳажм ўзгармас, босим ўзгармас ва х.к. Табиатда учрайдиган термодинамик жараёнда ишчи жисмнинг барча кўрсаткичлари ўзгариши ва система ташқи муҳитдан ажралмаган бўлиши мумкин.

Ҳақиқий (реал) термодинамик жараёнларда ишчи жисм ҳолати мураккаб шароитда ўзгаради, юқорида караб чиқилган 4 та содда термодинамик жараёнлар шу мураккаб (реал) жараёнларнинг фақат хусусий ҳоллари бўлади. Шундай қилиб, политроп жараёнлари ҳеч қандай бажарилиш шartига эга бўлмаган, энг умумий термодинамик жараёнлардир.

Жараённинг тенгламаси келтириб чиқарилади. Илгари кўриб ўтганимиздек, ҳар бир термодинамик жараён учун α нинг қиймати қуйидагича

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} \quad \text{ёки} \quad q = \frac{\Delta u}{\alpha},$$

тенгликни дифференциаллаймиз

$$dq = \frac{1}{\alpha} du = \frac{c_v}{\alpha} dT.$$

бу ерда, $\frac{c_v}{\alpha}$ нисбат политроп жараёнида газнинг иссиқлик сиғими дейилади ва c_n билан белгиланади. У ҳолда

$$dq = c_n dT \quad (88^a)$$

Термодинамика биринчи қонунининг математик ифодасини дифференциал кўринишда ёзамиз

$$dq = c_v dT + p d\vartheta$$

Ушбу тенглик билан (88) тенгликни таққослаб, қуйидаги тенгликка эга бўламиз:

$$c_n dT = c_v dT + p d\vartheta$$

$$c_n dT - c_v dT - p d\vartheta = 0 \quad \text{ёки} \quad (c_n - c_v) dT - p d\vartheta = 0 \quad (a)$$

dT нинг қийматини аниқлаш учун, газ ҳолати тенгламасидан “Т” ни аниқлаб, кейин дифференциаллаймиз

$$p\vartheta = RT, \quad T = \frac{p\vartheta}{R}$$

ёки dT нинг қийматини (a) тенгликка келтириб қўямиз:

$$\frac{c_n - c_v}{R} (p d\vartheta + \vartheta dp) - p d\vartheta = 0$$

Тенгликни ўнг ва чап томонларини $\frac{c_n - c_v}{R}$ нисбатга бўламиз ва ифодани ихчамлаймиз

$$Pd\vartheta + \vartheta dP - \frac{R}{c_n - c_v} p d\vartheta = 0 \quad \text{ёки} \quad \vartheta dp + \left(1 - \frac{R}{c_n - c_v}\right) p d\vartheta = 0 \quad (6)$$

Қавс ичидаги ифодани соддалаштирамыз, яъни

$$1 - \frac{R}{c_n - c_v} = \frac{c_n c_v - c_p + c_v}{c_n - c_v} = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$$

Охирги ифода политроп жараёнининг кўрсаткичи дейилади ва “n” билан белгиланади.

$$\frac{c_n - c_p}{c_n - c_v} = n$$

Шундай қилиб (6) тенгликни қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\vartheta dp + n \cdot p d\vartheta = 0 \quad \text{ёки} \quad \vartheta dp = -n \cdot p d\vartheta$$

Тенгликнинг шаклини қуйидагича ўзгартирамыз ва интеграллаймыз

$$n \frac{d\vartheta}{\vartheta} = \frac{dp}{p}, \quad \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p} = -n \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\vartheta}, \quad \ln \frac{p_2}{p_1} = -n \cdot \ln \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

Политроп кўрсаткичи “n” ни ишорасини ҳисобга олган ҳолда логарифм белгиси остига киритамиз, яъни $\ln \frac{p_2}{p_1} \ln \left(\frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}\right)^n$

Тенгликнинг қуйидагича ҳам ёзиш мумкин

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\vartheta_1^n}{\vartheta_2^n} \quad \text{ёки} \quad p_1 \vartheta_1^n = p_2 \vartheta_2^n$$

Шундай қилиб, политроп жараёнининг тенгламаси келиб чиқади

$$p \vartheta^n = \text{const} \quad (89)$$

Политроп жараёни (илгари айтиб ўтканимиздек), энг умумий термодинамик жараён бўлиб, бошқа жараёнлар унинг хусусий ҳолларидир. Бунинг исботи учун политроп кўрсаткичи “n” га хусусий қийматлар берамиз, яъни

1) агар $n=0$ бўлса, у ҳолда: $p \vartheta^0 = \text{const}$, чунки $\vartheta^0 = 1$ бўлади,

ёки $p = \text{const}$ **изобара жарёнига** айланади.

2) агар $p \vartheta^\infty = \text{const}$ ёки $n = \infty$ бўлганда изохор, $\vartheta = \text{const}$ бўлиб, **изохора жараёни тенгламасига** айланади.

3) Агар $n=1$ булса, $p \vartheta = \text{const}$ **изотерма жараён**.

4) Агар $n = k$ бўлса, $p \vartheta^k = \text{const}$ бўлиб, мос равишда **адиабата жараённинг тенгламалари** ҳолига айланади.

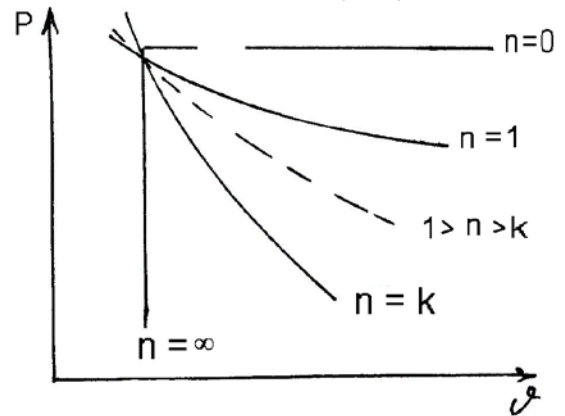
Политроп жараёнлари фақат юқорида қараб чиқилган тўртта жараённигина ўз ичига олиб қолмасдан, политроп кўрсаткичи “n”нинг $+\infty$ дан $-\infty$ оралиқларидаги қийматларида мавжуд бўлиб, жуда кўп жараёнлардан иборат бўлади. Политроп жараёнлари “p- ϑ ” диаграммасида (23-шакл) бир нуқтадан ўтувчи эгри чизиқлар ҳолида ифодаланади. Политроп жараёнида газ ҳолати кўрсаткичлари орасидаги боғланишни аниқлаш усули адиабата жараёнидаги каби аниқланади, фарқи шундаки, политроп жараёни учун “k” ўрнига “n” қўйилса етарли, яъни

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^n \quad (90), \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^{n-1} \quad (91), \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (92)$$

Шунингдек, жараёнда газ (ишчи жисм) бажарган иш ҳам адиабата жараёнидаги усул билан аниқланиб, бунда ҳам мос равишда “К” ўрнига “n” қўйилади.

$$\ell = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) \quad (93)$$

$$\ell = \frac{1}{n-1} (p_1 g_1 - p_2 g_2),$$



23-шакл

$$\ell = \frac{p_2 g_2}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_2 g_2}{n-1} \left[1 - \left(\frac{g_1}{g_2} \right)^{n-1} \right] \quad (94)$$

Политроп жараёнида газнинг иссиқлик сиғими политроп кўрсаткичининг ифодаси орқали аниқланади, яъни $n = \frac{c_n - c_p}{c_n - c_v}$ тенгламада $c_p = c_v \cdot K$ эканлигини ҳисобга олган ҳолда “ c_n ” нинг ечимини оламиз.

$$c_n = c_v \cdot \frac{n - K}{n - 1} \quad (95)$$

Политроп жараёни умумий жараён бўлгани учун иссиқлик сиғимининг тенгламаси бошқа (хусусий ҳолдаги) термодинамик жараёнлардаги газнинг иссиқлик сиғимларини ифодалайди, яъни:

- 1) $n=0$, изобара жараёни, $c_n = c_v \frac{0-K}{0-1} = c_v \cdot K = c_p$
- 2) $n=\infty$, изохара жараёни, $c_n = c_v \frac{\infty-K}{\infty-1} = c_v \frac{\infty}{\infty} = c_v$
- 3) $n=1$ изотерма жараёни, $c_n = c_v \frac{1-K}{1-1} = c_v \frac{1-K}{0} = \infty$
- 4) $n=K$ адиабата жараёни, $c_n = c_v \frac{K-K}{K-1} = 0$

Изотерма жараёнида газнинг иссиқлик сиғими чексиз бўлишига сабаб шуки, жараёнда газга иссиқлик берилаверади, лекин унинг ҳарорати (жараённинг шартига кўра) бир даражага ҳам ортмайди. Адиабата жараёнида иссиқлик сиғими нолга тенг, чунки жараённинг шартига кўра, газга мутлақо иссиқлик берилмайди, яъни $dq=0$

Политроп жараёнида газга берилган иссиқлик қуйидагича аниқланади:

$$q = \Delta u + \ell$$

ички энергиянинг ўзгариши ва ишнинг қийматларини формулага қўямиз:

$$q = c_v (T_2 - T_1) + \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$$

Тенгликнинг иккала томонини $(T_2 - T_1)$ га бўламиз:

$$\frac{q}{T_2 - T_1} = c_v + \frac{R}{n-1}$$

тенгликнинг ўнг томонини соддалаштирамиз, яъни:

$$c_v - \frac{R}{n-1} = \frac{c_v \cdot n - c_v - c_p + c_v}{n-1} = \frac{c_v \cdot n - c_v \cdot k}{n-1} = c_v \frac{n-k}{n-1}$$

демак, ёзиш мумкинки, $\frac{q}{T_2 - T_1} = c_v \frac{n-k}{n-1}$ чунки $c_p = c_v \cdot k$

Шундай қилиб жараёнда газга берилган иссиқлик қуйидагича бўлади:

$$q = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1) \quad (96)$$

ёки (93) тенгликни ҳисобга олсак: $q = c_n (T_2 - T_1)$ (97)

ёки дифференциал кўринишда $dq = c_n dT$ (98)

Жараёнда иссиқликнинг газ ички энергиясини орттиришга сарф бўладиган қисми (α) ни аниқлаймиз.

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v (T_2 - T_1)}{c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)} = \frac{n-1}{n-k} \quad (99)$$

Бу тенгликда ҳам шуни сезиш мумкинки, “ n ” нинг хусусий қийматларида α нинг қийматлари алоҳида термодинамик жараёнларнинг қийматларига айланади. Масалан, изоҳара жараёни учун текшириб кўрайлик

$\alpha = \frac{n-1}{n-k} = \frac{0-1}{0-k} = \frac{1}{k}$. Политроп жараёнида газ энтропиясининг ўзгаришини

энтропиянинг асосий тенгламасидан аниқлаймиз $ds = \frac{dq}{T}$

Ушбу жараён учун (98) тенгликни ҳисобга олган ҳолда $ds = c_n \frac{dT}{T}$.

Тенгликни интеграллаймиз $\Delta s = s_2 - s_1 = c_n \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = c_n \ln \frac{T_2}{T_1}$ ёки c_n нинг

қийматини ўрнига қўйсак:

$$\Delta s = c_n \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (100)$$

Шундай қилиб, барча жараёнлар билан танишиб ва қисқача таҳлил қилиб чиққанимиздан сўнг, идеал газлар билан бажариладиган барча термодинамик жараёнлар (23-шаклга қаралсин) ҳақида қуйидаги хулосаларни айтишимиз мумкин (хулосалар кенгайтиш жараёни учун, қисқич жараёнлари учун эса q ва Δu нинг ўзгаришларини, ҳамда бажариладиган ишнинг ишорасини тескари йўналишда тушунмоқ керак):

1. Газга жараён давомида иссиқлик берилиши (ёки олиниши) нуктаи назаридан:

а) Политроп кўрсаткичи “ n ” нинг $n > k$ қийматларида бажариладиган барча жараёнларда газдан иссиқлик олинади, яъни совутиб туриш керак бўлади.

б) Кўрсаткичнинг қиймати $n > k$ бўлган жараёнларда газга иссиқлик бериш (газни иситиш) орқали бажарилади.

с) Кўрсаткич “ n ” нинг адиабата кўрсаткичи “ k ” га тенг бўлган қийматларида бажариладиган жараёнлар давомида газ ташки муҳитдан

ажратилган холда бажарилади, яъни газга иссиқлик берилмайди ҳам, олинмайди ҳам.

2. Жараёнда ишчи жисм (газ) ички энергиясининг узгариши нуктаи назаридан:

а) Политроп кўрсаткичи $n > 1$ бўлган жараёнларда газнинг ички энергияси камайиб боради;

б) Курсаткичнинг киймати $n < 1$ булган холлардаги жараёнларда газнинг ички энергияси ортади, яъни жараён давомида газ кизиби боради;

с) $n = 1$ булган (изотермик) жараёнларда эса, газнинг ички энергияси ўзгармайди.

3. Умумий баъзи хулосалар:

а) Жараён бошланишида газга берилган иссиқлик, адиабата жараёни ($n = \kappa$) да, ташқи муҳитга берилиб исроф бўлмаганлиги учун бундай жараёнда энг юқори иш унумини олиш мумкин;

б) Иссиқлик двигателларида политроп кенгайиш жараёнларини адиабата жараёнига яқинлаштириш учун интилиш керак;

с) Поршенли иссиқлик двигателларининг мавжуд конструкциялари цикларида, политроп кўрсаткичининг қийматлари $1 < n < \kappa$ оралиғида бўлганлиги учун, шу оралиқдаги политроп жараёнлари двигател билан шуғулланувчи мутахассислар учун алоҳида аҳамиятга эга.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Термодинамик жараён ҳақида тушунчангиз?
2. Жараёнларни ўрганишдаги асосий қоидалари ҳақида маълумот беринг.
3. Ўзгармас ҳажмли (изохора) жараён.
4. Ўзгармас босимли (изобара) жараён.
5. Ўзгармас ҳароратли (изотерма) жараён.
6. Ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайдиган (адиабата) жараёни.
7. Умумий (политроп) жараёнлар.

Маъруза №6. – 2 соат

Мавзу: Айланма жараёнлар. Карно цикли.

Мақсад: Айланма термодинамик жараёнлар ва улардаги асосий қонуниятларни ўрганиш. Иссиқлик двигателлари учун Карнонинг назарий цикли ва совитгич машиналари учун тескари Карно цикли ҳақида маълумот олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Айланма жараёнлар (ёки цикллар).
2. Карно цикли.
3. Тескари Карно цикли.

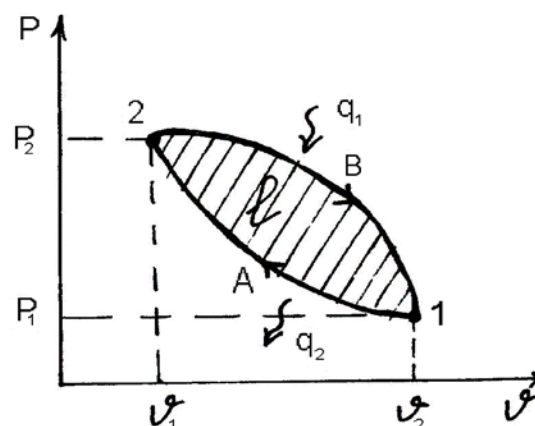
1. Айланма жараёнлар (ёки цикллар)

Иссиқлик машинасининг узлуксиз ишлаши учун аввал қараб чиқилган (идеал газларда термодинамик жараёнларнинг тахлили дарсликнинг I боби) термодинамик жараёнларнинг бирортасидан ҳам алоҳида ҳолатда фойдаланиб бўлмайди. Бу жараёнлар бажарилиши учун машинанинг поршени узлуксиз равишда бир йўналишда ҳаракат қилавериши керак, лекин бунга машинанинг чекланган реал ўлчамлари йўл қўймайди.

Бирон бир арзийдиган миқдордаги ишни олиш учун ишчи жисм кенгайиш жараёни узлуксиз такрорлаб туриши тақозо қилинади. Бунинг учун ишчи жисмни дастлабки ишчи ҳолатига қисиш жараёни орқали қайтариб келиш керак бўлади.

Иссиқлик машинасида қисиш жараёнида сарфланадиган иш кенгайиш жараёнида газдан олиннадиган ишдан анча кам бўлиши керак, акс ҳолда иссиқлик машинаси ишламайди.

Бошқача қилиб айтганда (24-шаклга қаранг), pV - диаграммасида қисишни ифодаловчи эгри чизик (2-A-1), кенгайишни ифодаловчи чизик (1-B-2) дан анча пастроқда жойлашиши керак. Машина ишчи жисмининг ҳолати 1-B-2-A-1 ёпиқ контур бўйича ўзгариб туради, яъни гоҳ кенгайиб, гоҳ қисилиб дастлабки ҳолати (1) га келиб туради. Бундай ёпиқ жараёнларни **айланма жараёнлар ёки цикллар** дейилади.



(101) ифодага ℓ циклда олинган (фойдали) иш бўлади. Айланма жараёнда олинган иш график усулда 1-A-2-B-1 эгри чизикнинг ичидаги юза (24-шакл) орқали ифодааланган.

Циклнинг иссиқлик тенгламаси термодинамиканинг биринчи қонунига асосан қуйидагича ёзилади:

$$q_1 - q_2 = \ell \quad (102)$$

Узлуксиз ишлаётган иссиқлик двигателида газга берилган иссиқлик микдорининг ҳаммаси ишга айланмай, бир қисми (q_2 қисми) албатта совутгичга ўтиши керак. Шунинг учун циклнинг **термик фойдали иш коэффициент** (Ф.И.К.) деган тушунча киритилади.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (103)$$

Циклда ишга айланган иссиқлик микдори ($q_1 - q_2$) нинг жами газга берилган иссиқлик микдори (q_1) га нисбати циклнинг фойдали иш коэффициент дейилади.

Термодинамик циклда ҳамма вақт ($q_1 > q_2$) бўлганлиги учун термодинамик ф.и.к. доимо 1 дан кичик бўлади, яъни $\eta_t < 1$

Агар циклда жараёнларнинг бажарилиши соат мили йўналишида бўлса, иссиқлик двигателининг цикли (24-шаклдагидек), агар жараёнларнинг бажарилиш кетма-кетлиги тескари йўналишда бўлса, циклдан фойдали иш ўрнига салбий иш олинади (сарфланади), бундай цикллар совутиш системалари (холодильник) нинг цикли бўлади.

2. Карно цикли

Илгари айтиб ўтканимиздек, ҳар қандай термодинамик циклнинг термик ф.и.к. қуйидагича бўлади.

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

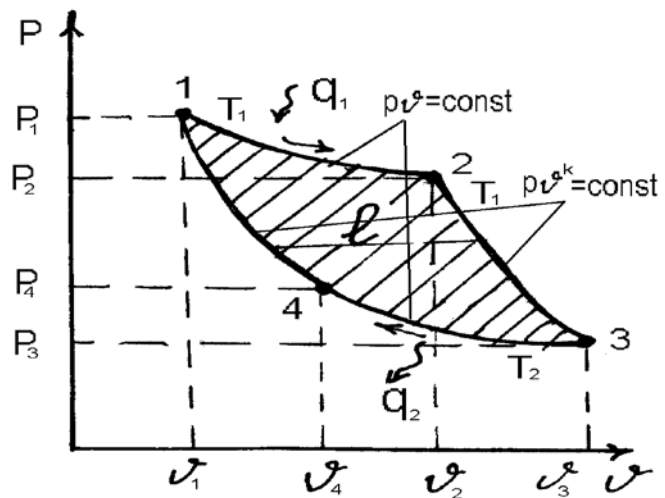
Бу ерда q_1 ва q_2 ларнинг қийматлари циклни ташкил қилган термодинамик жарёнларнинг турига ва уларнинг кетма-кетлигига боғлиқ. Шунинг учун, термодинамикада мавжуд бўлган хилма хил цикллар орасида қандай цикл энг юқори ф.и.к. беради (хатто у факат назарий бўлса ҳам), деган муаммо иссиқлик техникаси фани олдида туради. Бундай цикл, ҳар қандай бошқа циклнинг такомиллашиш даражасини, яъни иссиқликдан фойдаланишнинг қай даражадалигини билиш учун зарур.

Ана шундай энг мукамал термодинамик циклни 1824 йилда француз инженери Сади Карно таклиф килди. Карно таклиф килган цикл иккита изотерма ва иккита адиабата жараёнларидан ташкил топган. 25-шаклдан кўриниб турибдики, 1-2 ва 3-4 изотермик жараёнлар, 2-3 ва 4-1 адиабатик жараёнлардир.

T_1 - ишчи жисмнинг дастлабки ҳарорати бўлиб иссиқлик манбаининг ҳароратига тенг.

T_2 - адиабатик кенгайиш охири-даги харорат бўлиб, совитгич-нинг харорати хисобланади.

Бундай циклнинг термик ф.и.к. энг юкори бўлиши сабабини шу икки хил термодинамик жараёнларнинг тахлилидан кидириш керак бўлади. Маълумки, изотермик жараёнда газнинг ички энергияси ўзгармайди ($u=0$), шунинг учун газга берилган иссиқлик микдорининг барчаси ишга айланади ($q=\ell$).



25- шакл

Адиабата жараёни, илгари айтиб ўтганимиздек, газга берилган иссиқликни атроф мухитга чиқармайди, яъни газнинг изотермик жараёнидан қолган ички энергиясини тўла ишга айлантиради ($q_1 - q_2 = \ell$). Юқоридаги мулохазаларга кўра, газ қатор ҳолат ўзгаришларини (жараёнларни) босиб ўтиб, ўзининг дастлабки ҳолатини эгаллайди ва энг юкори (назарий) ф.и.к. га эга бўлади.

Циклнинг термик ф.и.к. ни келтириб чиқарамиз, (3) тенгликка кўра

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

Иссиқлик микдори газга 1 - 2 изотермик жараёнда берилади, шунинг учун

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1}$$

3 - 4 жараёнида газни сиқиш (изотермик) учун сарфланган ишнинг барчаси иссиқликка айланади ва q_2 иссиқлик микдори совитгичга берилади.

$$q_2 = RT_2 \ln \frac{g_3}{g_4}$$

Иссиқлик микдорларининг қийматларини ф.и.к. тенглигига келтириб қўямиз:

$$\eta_t = \frac{RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1} - RT_2 \ln \frac{g_3}{g_4}}{RT_1 \ln \frac{g_2}{g_1}} = \frac{T_1 \ln \frac{g_2}{g_1} - T_2 \ln \frac{g_3}{g_4}}{T_1 \ln \frac{g_2}{g_1}} \quad (104)$$

Ушбу тенгликда $\frac{g_2}{g_1} = \frac{g_3}{g_4}$ эканлигини исботлаб кўрамиз.

Кўрсаткичлар орасидаги боғланишга асосан 2-3 адабатик жараёни учун ёзиш мумкин:

$$\frac{g_2}{g_3} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$$

Шундай боғланишни энди 4-1 адиабатик жараёни учун ҳам ёзамиз:

$$\frac{g_1}{g_4} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{\kappa-1}}$$

Олинган иккала тенгликни таққосласак: $\frac{g_2}{g_3} = \frac{g_1}{g_4}$ ёки $\frac{g_2}{g_1} = \frac{g_3}{g_4}$

эканлигини кўрамиз. Демак, $\ln \frac{g_2}{g_1} = \ln \frac{g_3}{g_4}$ бўлганлиги учун (104)

тенгликда улар ўзаро қисқаради яъни

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad \eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (105)$$

Шундай қилиб, қайтувчан Карно циклининг термик ф.и.к. иссиқлик манбаининг ва совуткичнинг абсолют хароратларига боғлиқ. Хароратлар фарқи қанча катта бўлса, циклининг ф.и.к. шунча катта бўлади.

(105) ифодадан яна шуни кўриш мумкинки, циклининг термик ф.и.к. хар доим бирдан кичик бўлади. Бу ерда бирдан айрилувчи $\frac{T_2}{T_1}$ нисбат ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди. Бу нисбат ноль бўлиши учун қуйидаги иккита шартлардан бири бажарилиши керак, $T_2=0$ ($t_2 = -237,15^\circ\text{C}$) ёки $T_1 = \infty$. Маълумки, иккала шарт ҳам бажарилиши мумкин эмас.

Демак, циклда газга бериладиган иссиқлик миқдорини тўла ишга айлантириш мумкин эмас, ҳар қандай шароитда ҳам берилган иссиқликнинг бир қисми ишга айланмай совуткичга ўтади. Агар совуткич ва иссиқлик манбаларининг хароратлари тенг бўлса, яъни $T_1 = T_2$ бўлса, $\eta_t = 0$ бўлади.

3.Тескари Карно цикли

Карно циклининг шакли ўзгармай фақат жараёнларнинг йўналиши соат миля йўналишга тескари бўлса, тескари Карно цикли дейилади ва совутиш машиналарининг идеал цикли бўлиб ҳисобланади. Бунда циклдан фойдали иш олиниш ўрнига, циклни бажариш учун иш сарфлаш керак бўлади.

Циклда иссиқлик миқдори совуқроқ жисмдан иссиқроқ жисмга хайдалади. Совуткичларнинг (холодильник) компрессорларига сарфланадиган иш юқорида айтилган тескари циклни амалга ошириш учун сарфланади деб тушуниш керак. Тескари Карно циклининг совутиш коэффиценти қуйидагича бўлади:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{\ell} \quad \text{ёки} \quad \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (106)$$

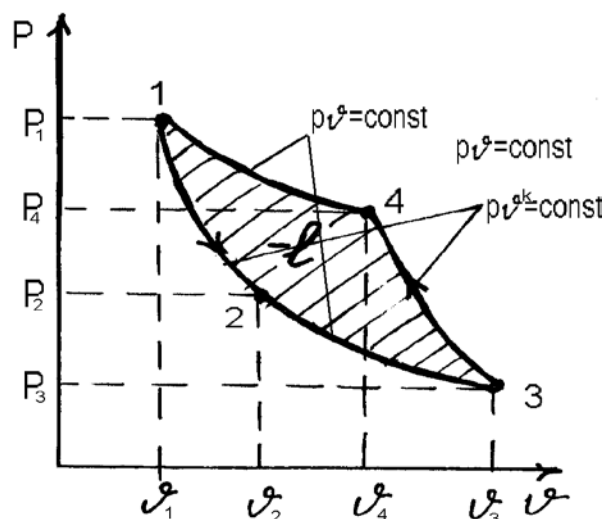
бу ерда q_2 - совитгичдан олинган иссиқлик миқдори;

ℓ - циклни бажариш учун сарфланадиган иш миқдори.

Совутиш коэффициентини ε нинг ортиши учун T_2 нинг ортиши ва айниқса T_1 нинг камайиши керак.

Инженер Карнонинг термодинамика учун хизмати асосан шунда бўлдики, унинг таклиф қилган цикли орқали қуйидаги қоида яратилди: **Иссиқликни механик ишга айлантириш учун иссиқлик манбаидан ташқари совутгич ҳам бўлиши зарур, яъни фақат хароратлар фарқи бўлгандагина мумкин.**

Техникада шундай ф.и.к.га эга бўлган цикл яратилганми деган саволга жавоб берадиган бўлсак, фақат йўқ деган жавобни беришимиз мумкин. Чунки бу цикл иссиқликдан фойдаланиш нуқтаи назаридан энг мукамал бўлгани билан камчиликка ҳам эга. Агар циклни 26-шаклдагидек эмас, масштаб билан курсак, циклни ифодаловчи контур ичидаги юза нихоятда оз бўлади. Яъни циклдан олинадиган иш (ℓ) оз бўлади. Юқори босим ва катта ҳажмли машина қилинса, шу машинанинг ўзини айлантириш учун кўп энергия кетиб қолади.



26- шакл

Юқоридаги мулохазаларга кўра, Карно цикли иссиқликдан фойдаланиш нуқтаи назаридан энг юқори ф.и.к га эга бўлган назарий цикл бўлиб қолади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Термодинамик жараёнлар ҳақида маълумот.
2. Иссиқлик двигателлари учун Карно цикли.
3. Совитиш машиналари учун тесқари Карно цикли.
4. Карно цикллариининг «Pv» ва «TS» координаталаридаги шакллари.

Маъруза №7. – 2 соат

Мавзу: Термодинамиканинг иккинчи қонуни.

Мақсад: Термодинамиканинг биринчи қонунининг моҳияти ва математик ифодаси ҳақида тушунча олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Термодинамика II қонунининг мазмуни.
2. Термодинамика II қонунининг математик ифодаси.

1. Термодинамика II қонунининг мазмуни

Термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиш йўналишини ҳам, айланиш шароитини ҳам кўрсатмайди. Ишнинг иссиқликка айланиши билан иссиқликнинг ишга айланиши ходисалари орасида кескин фарқ бор, лекин биринчи қонунда бунга эътибор берилмайди.

Двигател ишини тормозлаш йўли билан тўла иссиқликка айлантириш, яъни ҳар қандай ҳолатларда ҳам ишни иссиқликка тўла, 100 % айлантириш мумкин. Тескари ходиса - иссиқликнинг ишга айланиши ҳеч қачон тўла бўлмайди. Масалан, энг мукаммал иссиқлик двигателларида ҳам термик ф.и.к. 60 % дан ортмайди.

Шундай қилиб, иссиқликнинг ишга айланиши учун иссиқлик манбаи бўлишидан ташқари, совитгичнинг ҳам мавжуд бўлиши шарт.

Иккинчи қонуннинг мазмуни ҳақида немис физиги Л.Больцман шундай ёзган: **“Ҳамма табиий жараёнлар беқарорроқ ҳолатдан барқарорроқ ҳолатга ўтишдан иборатдир”**.

Масалан, пастга сувнинг оқиши табиий, чунки у барқарор ҳолатига - денгизга интилади. Сувни баландликка оқизиш учун эса махсус механизм - насос керак. Иккинчи мисол, иссиқроқ жисмдан совуқ жисмга иссиқлик микдорини ўтиши табиий, лекин тескари ходиса - совуқ жисмдан иссиқроқ жисмга иссиқликнинг ўтиши учун эса махсус механизм - совитгич (холодильник) керак бўлади. Энди буни иссиқлик техникаси қонидаси бўйича тушунтирамиз. Иш ва иссиқлик энергиянинг узатилиш усули бўлиб, улардан иссиқлик барқарорроқдир. Масалан, иссиқликни сақлаш мумкин, иш эса фақат бажарилаётган пайтда мавжуд бўлиб, кейин у сақланмайди. Демак, иш иссиқликка айланиши табиий бўлиб, иссиқликни ишга айланиши учун махсус механизм, двигател билан мажбур қилинади, шунда ҳам 100% айланмайди.

Демак, термодинамиканинг иккинчи қонуни биринчи қонуннинг таъсир доирасини қандайдир маънода чеклайди. Шу маънода инглиз физиги В.Томсон-Кельвин (1851 й.) иккинчи қонунга қуйидагича таъриф берди, **яъни даврий равишда ишлаб турган двигателда жисмни фақатгина совитмай туриб, унинг иссиқлигини ишга айлантириб бўлмайди**.

В.Оствальд эса термодинамиканинг иккинчи қонунини қуйидагича таърифлаган: **иккинчи даражали перпетуум мобилени яратиш мумкин эмас**.

Р.Клаузиус (1850 й.) таърифи бўйича, **иссиқлик анча совуқ жисмдан анча иссиқ жисмга ўз-ўзидан ўта олмайди**.

Немис физиги Л.Больцман термодинамиканинг иккинчи қонуни ҳолатини қуйидагича таърифлади: **иккинчи тур перпетуум мобилени яратиш мумкин эмас**. Бу дегани шуки, ташқаридан оз энергия олиб, микдор жихатдан кўп энергияга эквивалент бўлган иш бажарувчи двигателни бўлиши мумкин эмас. Ортиқча ишни «ҳеч нарса» ҳисобига бажаришга тўғри келади. **«Ҳеч нарса» ҳисобига иш бажарувчи двигателни биринчи турдаги перпетуум мобиле дейилади**.

Иккинчи турдаги перпетуум мобиле деганда қандайдир иссиқлик манбаидан иссиқлик олиб, бир хил жараёни ихтиёрий равишда такрорлаш асосида олинган иссиқликни тўлалигича бир қисм иссиқликни ўзига қабул қилувчи жисмнинг иштирокисиз ишга айлантирувчи иссиқлик двигатели тушунилади.

2. Термодинамика II қонунининг математик ифодаси

Қайтувчан Карно циклининг термик ф.и.к. қуйидагича аниқланган эди:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad \text{ёки} \quad \eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Иккала тенгликни ўнг томонларини ёзамиз:

$$1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

ёки математик ўзгартириб ёзиш мумкин:

$$\frac{q_1}{T_1} = \frac{q_2}{T_2} \quad (107)$$

Агар газдан олинадиган иссиқлик (q_2) ни манфий, газга бериладиган иссиқлик (q_1) ни мусбат деб ҳисобласак, (107) тенглик қуйидагича ўзгаради.

$$\frac{q_1}{T_1} = -\frac{q_2}{T_2} \quad \text{ёки} \quad \frac{q_1}{T_1} + \frac{q_2}{T_2} = 0$$

Умумий ҳолда

$$\sum \frac{q}{T} = 0 \quad (108)$$

бу ерда, $\frac{q}{T}$ - Клаузиус табири билан айтганда - келтирилган иссиқлик.

Демак, қайтувчан Карно цикли учун келтирилган иссиқликларнинг йиғиндиси нолга тенг.

Юқорида айтилган қоида фақат қайтувчан Карно цикли учун бўлибгина қолмасдан, балки ҳамма қайтувчан циклларга ҳам яроқлидир. Буни исботлаш учун ихтиёрий қайтувчан циклни кўриб чиқамиз (27-шакл).

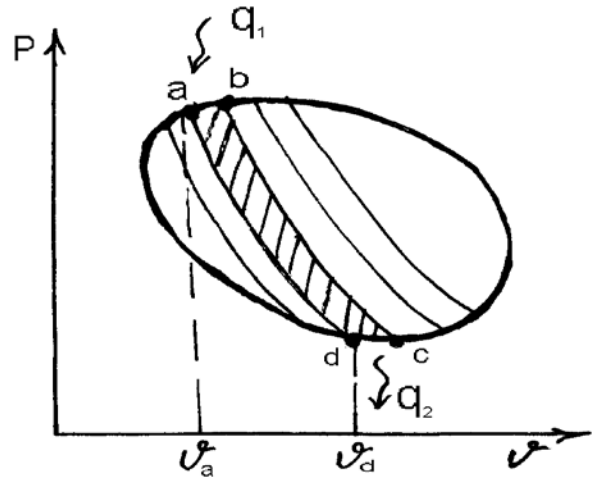
Циклни бир-бирига чексиз яқин ad ва bc ва х.к. адиабата чизиклари орқали бўлиб чиқамиз. ab , cd ва х.к. чизиклари учун харорат ўзгариб улгурмайди ва улар изотермик жараёнлар ҳисобланади. Шундай қилиб биз циклни чексиз кўп миқдордаги элементар Карно циклларига бўлиб юбордик. Элементар Карно цикли $a-b-c-d$ учун ёзамиз:

$$\sum \frac{dq}{T} = 0$$

Агар бутун контур бўйича интеграллаб, қайтувчан цикл учун қуйдагига эга бўламиз.

$$\oint \frac{dq}{T} = 0 \quad (109)$$

Демак, ихтиёрий қайтувчан цикл учун келтирилган иссиқликларнинг интеграл йиғиндиси нолга тенг.



27-шакл

Юқоридаги (109) ифода Клаузиус (1854 й.) томонидан таклиф қилинган.

$\frac{dq}{T} = dS$ - ифода газнинг энтропияси бўлгани учун қайтувчан Карно цикли учун энтропияни ўзгариши қуйдагича бўлади.

$$\oint \frac{dq}{T} = 0 \quad \text{ёки} \quad \oint ds = 0 \quad (110)$$

Демак, Карно цикли бўйича қайтувчан жараён учун энтропиянинг ўзгариши доимо нолга тенг.

Хар қандай қайтмас цикл учун эса $\eta_{\text{қайтмас}} < \eta_{\text{қайтувчан}}$; $\frac{dq_1}{T_1} - \frac{dq_2}{T_2} < 0$

Демак, $\sum \frac{dq}{T} < 0$

Агар бажарилаётган циклни тўла контур бўйича ифодаловчи функцияни тўла дифференциалини ҳисобга олсак қуйдагига эга бўламиз.

$$\oint \frac{dq}{T} < 0 \quad \text{ёки} \quad \oint \frac{dq}{T} \leq 0$$

Уларнинг йиғиндиси эса

$$ds = \frac{dq + dq_{\text{ишк}}}{T} = \frac{dq}{T} + \frac{dq_{\text{ишк}}}{T} \quad (111)$$

бу ерда, $q_{\text{ишк}}$ - ишқаланишда йўқотилган иссиқлик бўлиб, газ энтропиясининг ортишига олиб келади.

Демак, элементар қайтмас циклда келтирилган иссиқликларнинг йиғиндиси манфий бўлади.

Қайтмас цикл учун эса қуйдагича бўлади:

$$dq + dq_{\text{ишк}} \quad (112)$$

(109) ва (112) тенгликларни умумлаштирамиз, яъни

$$\oint \frac{dq}{T} \leq 0 \quad (113)$$

Бу ифода термодинамика иккинчи қонунининг математик ифодаси хисобланади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Термодинамиканинг II қонунининг мазмуни ҳақида маълумот?
2. Термодинамиканинг II қонунининг математик ифодаси ҳақида тушунчангиз?
3. Термадинамик жараёнларни «Pv» координаталаридаги шакллари ҳақида маълумот беринг.
4. Термадинамик жараёнларни «TS» координаталаридаги шакллари ҳақида маълумот беринг.

Маъруза №8. – 2 соат

Мавзу: Иссиқлик двигателлари ва компрессорларининг идеал цикллари.

Мақсад: Поршенли ички ёнув двигателларининг идеал циклларини ўрганиш. Компрессорлар ҳақида умумий маълумот олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Поршенли ички ёнув двигателлари (И.Ё.Д) нинг идеал цикллари.
2. Ўзгармас ҳажмда иссиқлик бериладиган цикл.
3. Ўзгармас босимда иссиқлик бериладиган цикл.
4. Аралаш усулда иссиқлик бериладиган ички ёнув двигателларининг цикли.
5. Компрессорларнинг цикллари.

1. Поршенли ички ёнув двигателлари (И.Ё.Д) нинг идеал цикллари

Идеал цикллари ўрганиб чиқишда двигател цилиндрлари ичида содир бўладиган жараёнларни тадқиқ қиламиз ва жараёнларнинг ф.и.к. га таъсир қилувчи омиллар анализ қилинади.

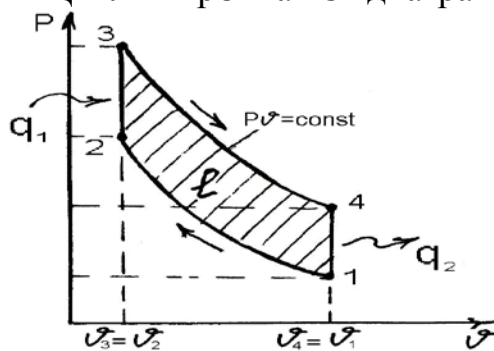
Цикллари ўрганишда қуйидаги шартларга амал қиламиз:

- 1) Ишчи жисм деб идеал газ олинади;
- 2) Цикллар - ёпик ва қайтувчан;
- 3) Ишчи жисм кимёвий ўзгармас (яъни ёниш жараёни содир бўлмайди);
- 4) Ёниш жараёни ўрнига газга тенг микдордаги иссиқлик бериш билан алмаштирилади.

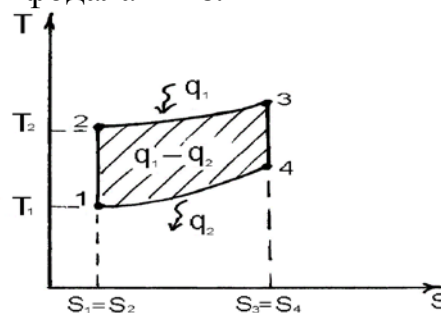
Шундай қилиб, техник термодинамика фақат энг юқори ф.и.к. берадиган жараёнларни ва уларнинг энг қулай комбинацияларини кўриб чиқади ва демек, двигателнинг идеал ишлаш шароитини ўрганади.

2. Ўзгармас ҳажмда иссиқлик бериладиган цикл

Циклни $p\vartheta$ ва Ts диаграммаларида ифодалаймиз.



37-шакл



38-шакл

Цикл иккита изохара ва иккита адиабата жараёнларидан ташкил топади. Бошланғич босим p_1 ва ҳажм ϑ_1 га эга бўлган (1-ҳолат) газ цилиндрда адиабатик сиқилиш натижасида (1-2 чизиги) босим p_2 га ҳажм ϑ_2 га боради (2-ҳолат). Кейин газга ўзгармас ҳажмда, маълум миқдорда (q_1) иссиқлик берилади (ёниш). Шундан сўнг газ (ёниш маҳсулотлари) адиабатик кенгайиш натижасида ϑ_4 ҳажмга ортади. Нихоят 4-1 изохарик жараёнда газдан q_2 иссиқлик совитгичга ўтиши (чиқариш клапани очилади) натижасида газнинг босими p_4 дан p_1 га тушади ва газ дастлабки ҳолатига қайтади.

Сўриш ва чиқариш жараёнлари ўзгарувчан газ миқдорларида бўлганлиги учун улар термодинамик жараёнлар бўла олмайди ва шу сабабли циклга кирмайди.

Циклда олинган фойдали иш маълум масштабда $p\vartheta$ диаграммасида 1-2-3-4-1 контурнинг юзаси билан ифодаланади. Ёки математик кўринишда қуйидагича бўлади.

$$\ell = q_1 - q_2$$

Маълумки, ҳар қандай цикл учун термик ф.и.к. $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$

2-3 ва 4-1 изохарик жараёнларида газга бериладиган ва олинган иссиқлик миқдорлари:

$$q_1 = c_v \left(T_3 - T_2 \right), \quad q_2 = c_v \left(T_4 - T_1 \right)$$

Буларни термик ф.и.к. формуласига кўямиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right)}{T_2 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Энди $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$ эканлигини исбот қилиб кўрамиз.

Ички ёнув двигателларида ϑ_1 ҳажми (цилиндрнинг тўла ҳажми) ϑ_2 ҳажм (қисиш камерасининг ҳажми) га нисбати двигателнинг қисиш даражаси дейилади ва $\mathcal{E}$ билан белгиланади.

1-2 адиабатик қисиш учун ёзиш мумкин.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\kappa-1}, \quad T_2 = T_1 \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\kappa-1}, \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1} \quad (a)$$

3-4- адиабатик кенгайиш учун эса;

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\kappa-1} = \varepsilon^{\kappa-1}, \quad T_3 = T_4 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}$$

Охирги иккала тенгликларни таққосласак:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4}, \quad \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

ф.и.к. формуласига олинган қийматларни термик қўямиз, яъни

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{T_1}{T_1 \cdot \varepsilon^{\kappa-1}} \quad \text{ёки} \quad \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (117)$$

Демак, циклининг термик ф.и.к. двигателнинг қисий даражасига ва адиабата кўрсаткичларига тўғри пропорционал бўлган.

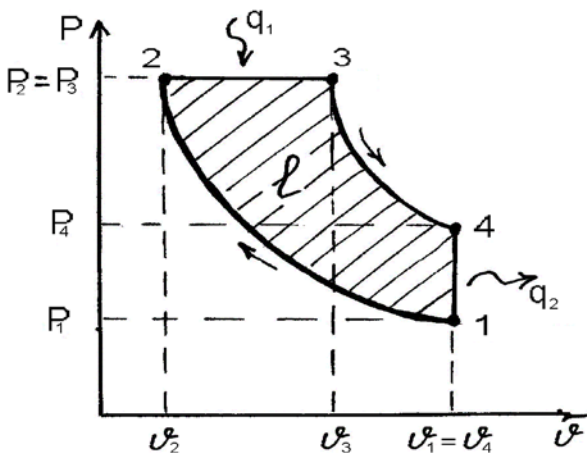
Юқорида кўриб чиқилган цикл хозирги замон тез юрар карбюраторли двигател-ларида кенг қўлланилади. Двигателнинг ф.и.к. ни орттириш учун унинг ε ва κ кўрсаткичларини каттароқ қилиш керак (117 ифодага қаранг). “ ε ” ни катта-лаштириш учун двигателга октан сони юқорирок бензин керак бўлади. “ κ ” ни орттириш учун эса двигател цилиндрига ҳаво эмас, балки бирор бир атомли газ киритиш керак, бу эса мушкул масала. Демак, бензинни октан сонини орттириш осонроқ йўл ҳисобланади.

3. Ўзгармас босимда иссиқлик бериладиган цикл

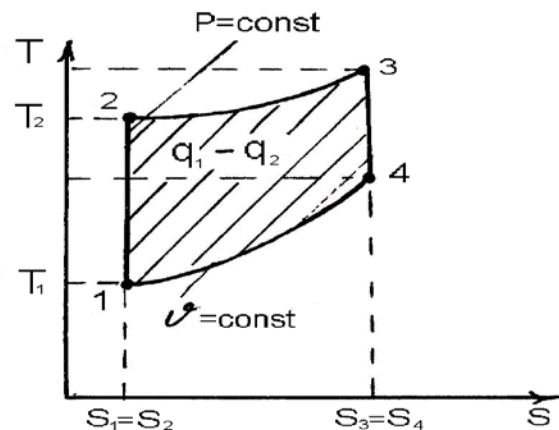
Юқорида кўриб чиқилган циклдан бу циклининг асосий фарқи шуки, бу ерда газга бериладиган иссиқлик q_1 оний бўлмай бироз давом этади. Бу пайтда цилиндрда босим ўзгармайди (изобара).

Циклни $p\theta$ ва Ts диаграммаларида ифодаalayмиз.

40-шаклда циклни ифодаловчи контур ичидаги юза маълум масштабда циклдан олинган ишни ифодаalayди. Шаклдаги юза эса циклда фойдали ишга айланган иссиқлик миқдори бўлиб ҳисобланади.



39-шакл



40-шакл

Циклнинг термик ф.и.к.ни аниқлашдан илгари қуйидаги ибораларни киритамиз:

$$\frac{g_1}{g_2} = \varepsilon \quad \text{-- двигателнинг қисиш даражаси.}$$

$$\frac{g_3}{g_2} = \rho \quad \text{-- дастлабки кенгайиш даражаси.}$$

Термик ф.и.к.нинг умумий формуласидан фойдаланамиз.

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

2-3 изобара жараёни ва 4-1 изохара жараёнларида газга берилган ва олинган иссиқлик миқдорлари қуйидагича бўлади:

$$q_1 = c_p(T_3 - T_2) \quad \text{ва} \quad q_2 = c_v(T_4 - T_1)$$

Қийматларни ўрнига келтириб қўямиз:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{K(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{K \cdot T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

1-2- ва 3-4 адиабатик жараёнлари учун кўрсаткичлар орасидаги боғланишни ёзамиз.

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{g_2}{g_1} \right)^{\kappa-1} = \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} ; \quad T_1 = T_2 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

ва

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{g_3}{g_4} \right)^{\kappa-1} = \left(\frac{g_3}{g_2} \cdot \frac{g_2}{g_4} \right)^{\kappa-1} = \rho^{\kappa-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

бу ердан

$$T_4 = T_3 \cdot \rho^{\kappa-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}.$$

T_4 нинг T_1 га нисбатини аниқлаймиз.

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3 \cdot \rho^{\kappa-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}}{T_2 \cdot \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}} = \frac{T_3}{T_2} \cdot \rho^{\kappa-1} = \rho \cdot \rho^{\kappa-1} = \rho^{\kappa}$$

чунки, изобара жараёни 2-3 учун

$$\frac{g_3}{g_2} = \frac{T_3}{T_2} = \rho$$

Олинган натижаларни ф.и.к. формуласига келтириб қўямиз:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{(\rho^{\kappa} - 1)}{K(\rho - 1)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \cdot \frac{\rho^{\kappa} - 1}{K(\rho - 1)} \quad (118)$$

(117) ва (118) тенгликларни ўзаро таққосласак, $\frac{\rho^\kappa - 1}{\kappa(\rho - 1)}$ нисбатда эканлигини кўрамыз.

Хозирги замон двигателларида ва κ нинг мумкин бўлган қийматларида қуйидагича эканлигини сезамиз.

$$\frac{\rho^\kappa - 1}{\kappa(\rho - 1)} > 1$$

Демак, $p = \text{const}$ шароитида иссиқлик бериладиган И.Ё.Д. ларида (бир хил шароитда) η_t камроқ бўлади.

Бироқ, бу цикл билан ишлайдиган двигателлар секин юрар (кема) дизелларида кенг қўлланилмоқда. Бунинг сабаби, дизел двигателларида қисиш даражаси (ε) карбюраторли двигателларга қараганда деярли 2 марта юқори

бўлганлиги учун иккинчи циклда $\frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$ нисбатан биринчи циклдан анча кичик бўлиб, $p = \text{const}$ бўлгандаги И.Ё.Д. нинг термик ф.и.к. ларини амалда сезиларли юқори бўлишини таъминлайди.

4. Аралаш усулда иссиқлик бериладиган ички ёнув двигателларининг цикли

Циклни “ $p\theta$ ” ва “ Ts ” координаталарида чизамиз.

Цикл 5 та жараёндан ташкил топган: 1-2- адиабатик қисиш; 2-3- изохорик (газга) иссиқлик бериш; 3-4- изобарик (газга) иссиқлик бериш; 4-5- адиабатик кенгайиш (иш олиш); 5-1- газнинг изохорик совуши (газдан иссиқликнинг совуткичга ўтиши).

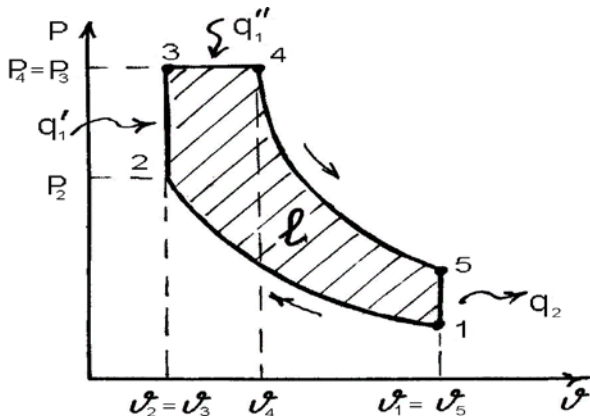
Циклнинг термик ф.и.к. $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1'' + q_1'}$

Газга берилган ва газдан совуткичга ўтган иссиқлик миқдорлари:

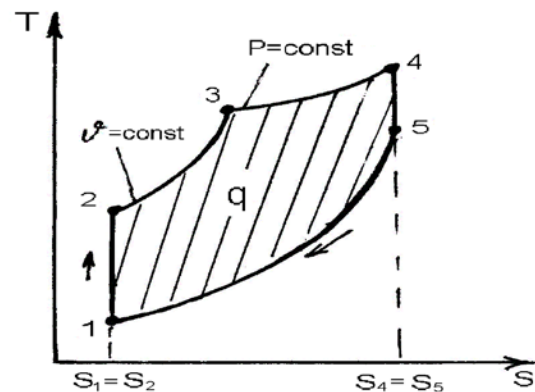
2-3- изохорада $q_1' = c_v(T_3 - T_2)$

3-4- изобарада $q_1'' = c_p(T_4 - T_3)$

5-1- изохорада $q_2 = c_v(T_5 - T_1)$



41-шакл



42-шакл

Термик ф.и.к. формуласига қўямиз:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2) + c_p(T_4 - T_3)} = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + K(T_4 - T_3)} \quad (a)$$

Циклнинг 2 ва 3 нуқталари учун газ ҳолати тенгламаларини ёзамиз ва уларни ўзаро бўламиз:

$$p_2 \vartheta = RT_2 \quad \text{ва} \quad p_3 \vartheta = RT_3$$

чунки 2-3- изохора учун $\vartheta_2 = \vartheta_3 = \vartheta$

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda - \text{и.ё.д. ларида ёнишдаги босимнинг ортиш даражаси дейилади.}$$

1-2- адиабатик жараёни учун ёзиш мумкин:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} \quad \text{ёки} \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

2-3- изохора жараёни учун

$$\frac{T_3}{T_2} = \lambda ; \quad \text{ёки} \quad T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda$$

3-4- изобара жараёни учун ҳам ҳолат тенгламаларини ёзиб, ўзаро бўламиз.

$$p \vartheta_4 = RT_4 \quad \text{ва} \quad p \vartheta_3 = RT_3, \quad \text{чунки} \quad p_3 = p_4 = p$$

$$\frac{\vartheta_4}{\vartheta_3} = \frac{T_4}{T_3} = \rho - \text{и.ё.д. ларида дастлабки кенгайиш даражаси дейилади.}$$

Охирги тенгликлардан T_4 нинг қийматларини аниқлаймиз:

$$T_4 = T_3 \cdot \rho \quad \text{ёки} \quad T_4 = T_1 \cdot \rho \cdot \lambda \cdot \varepsilon^{k-1}$$

4-5- адиабатик кенгайиш учун

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{\vartheta_4}{\vartheta_5} \right)^{k-1}, \quad \frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{\vartheta_4}{\vartheta_3} \cdot \frac{\vartheta_2}{\vartheta_5} \right)^{k-1} = \rho^{k-1} \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

тенгликлардан T_5 нинг қийматини топамиз.

$$T_5 = T_4 \cdot \rho^{k-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \rho^k \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^k$$

T ларнинг топилган қийматларини ф.и.к. нинг (а) тенглигига келтириб қўямиз ва математик соддалаштиришлардан сўнг ҳосил қиламиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^k - T_1}{(T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \lambda - T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}) + K(\rho \cdot \lambda \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot T_1 - T_1 \cdot \lambda \cdot \varepsilon^{k-1})}$$

ёки

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + k\lambda \cdot (\rho - 1)} \quad (119)$$

Аралаш усулда газга иссиқлик бериладиган и.ё.д.нинг кўриб чиқилган цикли илгари кўриб чиқилган 2 та циклларнинг умумлашмаси бўлиб, буни математик усулда ҳам исботлаш мумкин.

а) Агар $\rho = 1$ бўлса, (119) тенгликдаги иккинчи кўпайтирувчи 1 га тенг бўлиб қолади, яъни

$$\frac{\lambda \cdot \rho^k - 1}{(\lambda - 1) + K \cdot \lambda(\rho - 1)} = \frac{\lambda - 1}{\lambda - 1} = 1$$

(119) тенглик (117) тенгликка айланади. $\mathcal{Q} = \text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган и.ё.д. циклининг тенглиги келиб чиқади.

б) Агар $\lambda = 1$ бўлса, (119) тенглик (118) тенгликка айланади.

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

Аралаш усулда иссиқлик бериладиган цикл hozir ишлатилаётган тезюрар (тир-сакли валнинг айланиш тезлиги 1000 айл/мин дан анча юқори) автотрактор дизел-ларида кенг қўлланилмоқда. Бунинг сабаби қисиш даражаси (ε) нинг юқорилиги ва ρ нинг амалий қийматларида циклининг термик ф.и.к. анча юқори (карбюраторли двигателларга қараганда) бўлмоқда.

Ана шу хулосага кўра, дунё двигателсозлигида шу кунга келиб трактор двигателлари деярли 100 % дизеллашди, енгил автомобил двигателлари hozirча факат 30...35 % дизеллашди, бу жараён илғор фирмаларда давом этмоқда.

5. Компрессорларнинг цикллари

Техникада газсимон моддаларни (газ ва буғларни) қисиб трубага ёки идишга хайдаш учун ишлатиладиган машиналарни - **компрессорлар** деб айтилади. Кўпинча, поршенли ёки марказдан қочма асосда ишлайдиган компрессорлар қўлланилади. И.Ё.Д.ларидаги газнинг иссиқлик таъсирида маханик иш олинса, компрессорларда газни қисиш учун механик иш сарфланади. Бу иш (энергия) газга ташқаридан берилади, яъни компрессор циклини бажаришда манфий иш бажарилади.

Бир поғонали поршенли компрессор

Цикл куйидаги жараёнлардан иборат (43-шакл):

4-1 - газни компрессор цилиндрига сўриш.

1-2 - газни изотермик (политропик, адиабатик) қисиш жараёни.

2-3 - компрессор цилиндридан қисилган газни итариб чиқариш (изобара) жараёни.

3-4 - газнинг хайдаб чиқарилгандан сўнг компрессор поршенининг қайта бошлаши (кенгайиш) натижасида босимнинг (изохорик) пасайиш жараёни.

$p\mathcal{Q}$ координаталар тизимида циклни бажариш учун (1 кг қисилган газ учун) 44 шаклдаги штрихланган юза $\ell = S_{1-2-3-4-1}$ билан ифодаланган механик иш сарфланади.

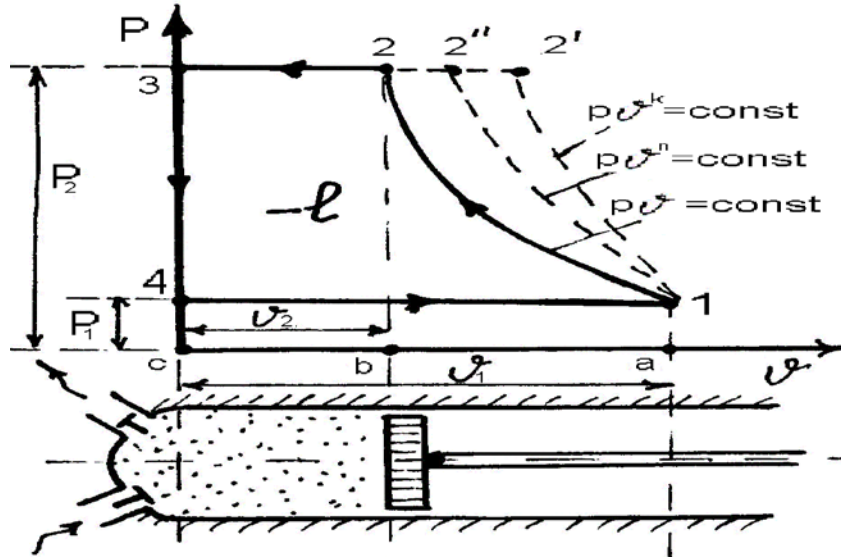
а) агар газни қисиш изотермик бўлса, компрессорни харакатлантиришга сарфланадиган иш:

$$\ell = p_2 \mathcal{Q}_2 + \int_{\mathcal{Q}_2}^{\mathcal{Q}_1} p \mathcal{Q} - p_1 \mathcal{Q}_1$$

Изотермада $p_1 \mathcal{Q}_1 = p_2 \mathcal{Q}_2$ бўлганлиги учун

$$\ell = 2,3RT \lg \frac{g_1}{g_2} \quad (120)$$

яъни, компрессорда қисиш жараёни изотермик бўлса циклга сарфланадиган иш фақат изотермик қисишга сарфланади.



43-шакл

б) Агар қисиш жараёни адиабатик бўлса қисишган сарфланадиган иш миқдори.

$$\ell = p_2 g_2 + \frac{k}{k-1} (p_2 g_2 - p_1 g_1)$$

натижада иш учун

$$\ell = \frac{K}{K-1} (p_2 g_2 - p_1 g_1) \quad (121)$$

Циклга сарфланадиган иш адиабатик қисиш жараёнидаги ишга қараганда “К” марта кўпроқ бўлади.

Иш миқдорини энтальпия орқали ифодалаш ҳам мумкин. Адиабатик жараёнда $q=0$ бўлганлиги учун термодинамика биринчи қонунининг математик ифодаси

$$\ell = \Delta u \quad \text{ёки} \quad \ell = u_2 - u_1$$

демак, $\ell = p_2 g_2 + (u_2 - u_1) - p_1 g_1$ ёки $\ell = (p_2 g_2 + u_2) - (p_1 g_1 + u_1)$

бундан $\ell = i_2 - i_1$

Компрессорда қисиш адиабатик бўлганда сарфланадиган иш миқдори газнинг қисишдан кейинги ва олдинги энтальпияларининг айирмасидан иборат.

в) агар қисиш жараёни политропик бўлса, сарфланадиган иш миқдори,

$$\ell = \frac{n}{n-1} (P_2 g_2 - P_1 g_1) \quad (122)$$

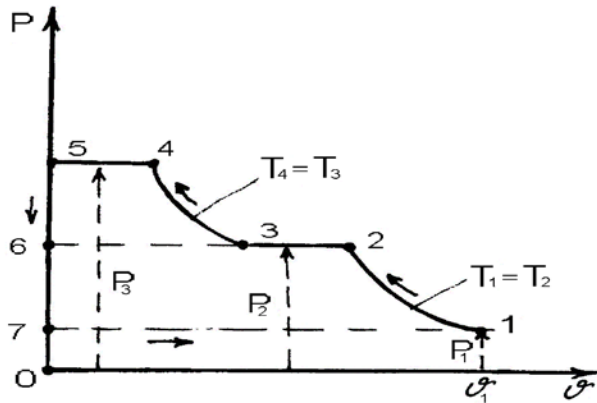
(122) ифоданинг келтириб чиқариш (121) тенгликни келтириб чиқариш каби бўлади, фақат кўрсаткич “к” эмас “n” бўлади.

Ишлаётган поршенли компрессорларнинг кўпчилиги политропик бўлиб, даража кўрсаткичи, $n=1,20\dots 1,25$ оралиғида ўзгаради.

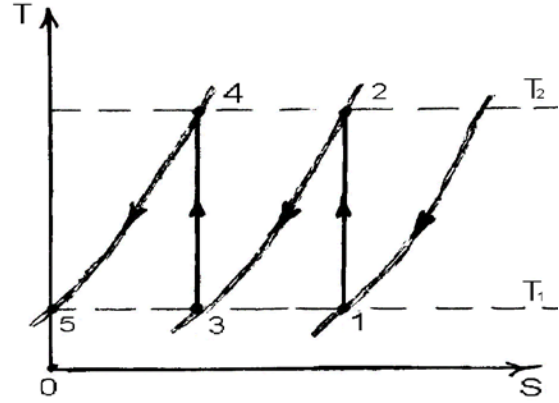
Кўп поғанали компрессорлар

Биз юқорида кўриб чиққан бир поғонали поршенли компрессорнинг иш унуми жуда яхши, лекин юқори босимда ишлаганда тез қизиб кетади. Одатда 10 ат. гача босим ҳосил қилинганда, газни узатиш бир поғонали компрессорлар билан амалга оширилади.

Каттароқ босимлар билан ишлашга тўғри келганда икки ёки кўп поғонали компрессорлар (хар бир поғонада тахминан 10 ат.) билан босим ҳосил қилинади. Бунда хар бир поғонадан сўнг газ совитилади.



44-шакл



45-шакл

Қисиш жараёнининг изотермик бўлиши мақсадга мувофиқ бўлади, лекин амалда бажарилиши қийин бўлганлиги учун шу жараёнга яқинлаштирилади. Хар бир поғонадан сўнг изобарик шароитда газ дастлабки ҳароратгача совитилади.

Агар компрессорда газнинг қисилиши политроптик бўлиб, кўрсаткичи “n” бўлса,

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{иккинчи поғона учун,} \quad \frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Компрессорнинг ишлаш шароитига қараб, $T_1=T_3$ ва $T_2=T_4$ бўлганлиги учун:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$$

Компрессорда қисиш поғоналари “z” марта бўлганда $n = \sqrt[z]{\frac{p_{\text{охир}}}{p_{\text{боил}}}}$ бўлади.

Компрессорда сарфланадиган иш миқдори қуйидаги ифода орқали аниқланади.

$$\ell = z \frac{n}{n-1} p_1 \vartheta_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (123)$$

бу ерда, z - поғоналар сони.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Поршенли ички ёнув двигателларининг идеал цикллари ҳақида маълумот беринг.
2. Ўзгармас ҳажмда иссиқлик бериладиган цикл.

3. Ўзгармас босимда иссиқлик бериладиган цикл.
4. Аралаш усулда иссиқлик бериладиган И.Ё.Д. нинг цикли.
5. Компрессорларнинг идеал цикллари ҳақида тушунча беринг.

Маъруза №9. – 2 соат

Мавзу: Газ турбинали қурилмалар ва реактив двигателларнинг иш цикллари.

Мақсад: Газ турбинали қурилмалар ва реактив двигателларнинг иш циклларини ўрганиш. Уларнинг афзалликлари ва камчиликлари ҳақида маълумот олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

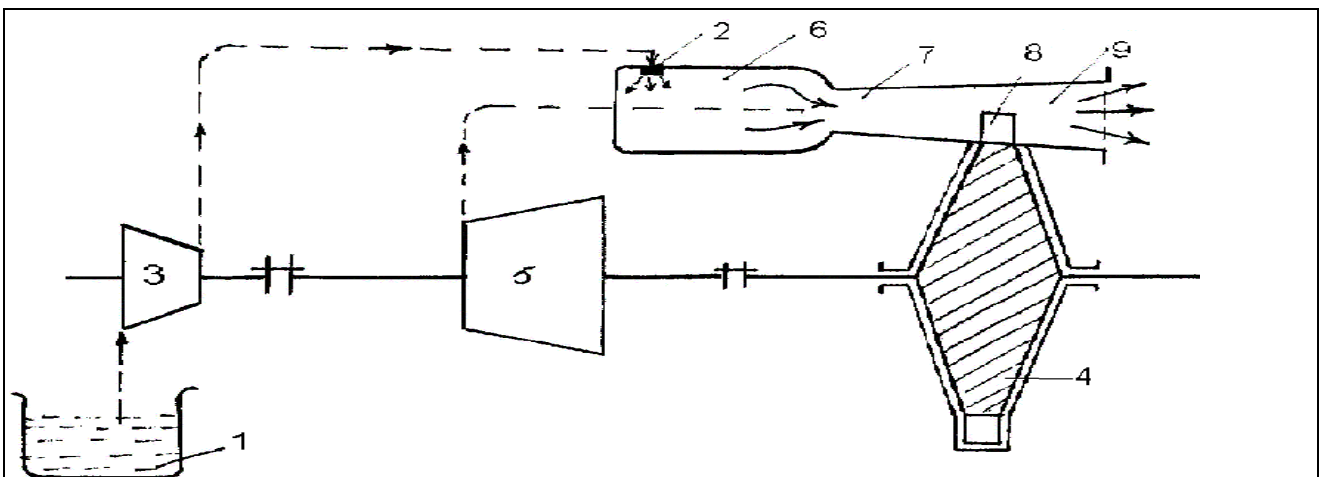
1. Газ турбинали қурилмалар.
2. $P=\text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган ГТК цикли.
3. $v=\text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган ГТК иш цикли.
4. Реактив двигателлар цикллари.

1. Газ турбинали қурилмалар

Иссиқлик двигателлари орасида поршенли ички ёнув двигателларидан кейинроқ, улардан анча афзалликларга эга бўлган газ турбинали қурилмалар ва реактив двигателлар ихтиро қилинди ва кенг қўлланилмоқда.

Юқорида айтиб ўтганимиздек, поршенли ички ёнув двигателларида ишчи жисм сифатида хаводан фойдаланилади. Газ турбинали қурилмалар ва реактив двигателлар ҳам ишчи жисм сифатида хаводан фойдаланувчи иссиқлик двигателлари ҳисоблансада, кейинроқ ихтиро қилиниб, кенг ишлатилаётган (айниқса, авиацияда) қурилмалар тузилиши, ишлаши ва тезликларида поршенли двигателлардан кескин фарқ қилади.

46-шаклдаги газ турбинали қурилма (ГТК) нинг ишлашини тушуниш қийин эмас. Ёниш камерасида қизиган газларнинг босим энергияси соплада кинетик энергияга айланиб, ташқарига катта тезлик билан чиқиб кетаётиб турбинага энергиясини бериб, яъни турбинани айлантириб чиқиб кетади.



46-шакл

1-ёнилги баки, 2-ёнилги пуркагич (форсунка), 3-ёнилги насоси, 4-турбина парраги (ротори), 5- хаво компрессори, 6-ёниш камераси, 7-газ пуфлагич (сопла), 8- парракнинг иш кураклари, 9-тутун чиқариш трубази.

ГТК лар ёниш жараёни, яъни газга иссиқлик беришига қараб икки хил бўлади. 47 шаклдаги қурилмада ишчи жисм - газга q_1 иссиқлик бериш ўзгармас босимда ($P=\text{const}$) бўлади.

Агар ГТК нинг ёниш камераси (6) да киритиш ва чиқариш клапанлари, яъни газ тақсимлаш механизми бўлса, қурилма цикли $\vartheta = \text{const}$ да иссиқлик бериладиган цикл бўйича ишлайди.

2. $P=\text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган ГТК цикли

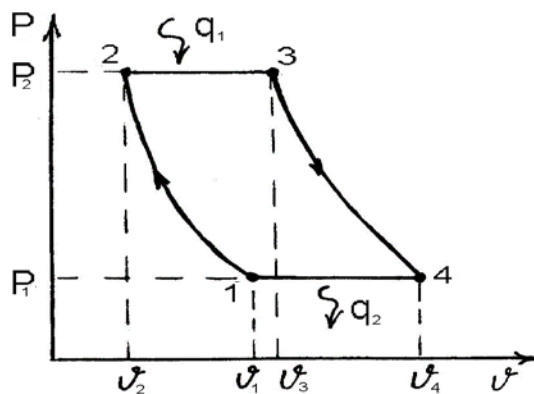
47 ва 48-шаклларда ГТК нинг цикли pV ва Ts координаталарида ифодаланган. Бунда, 1-2- хавонинг компрессордаги адиабатик қисилиши;

2-3- ёнилгининг ёниш камерасидаги изобарик ёниши (иссиқлик q_1 берилиши)

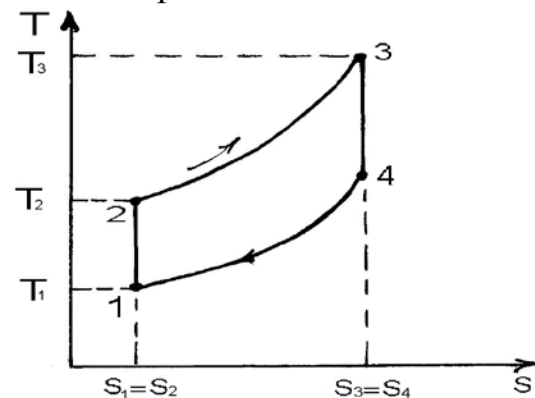
жараёни;

3-4- газнинг (тутуннинг) сопладаги адиабатик кенгайиши;

4-1- газни мухитга (изобарик) чиқиб кетиш жараёни.



47-шакл



48-шакл

Газга берилган ва олинган иссиқлик миқдорлари

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2) \quad \text{ва} \quad q_2 = (T_4 - T_1)$$

$$\text{Циклнинг термик ф.и.к.} \quad \eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

1-2- ва 3-4- адиабатик жараёнлардан фойдаланиб, $\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$ эканлигини

$$\text{исботлаш қийин эмас, демак} \quad \eta_t = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (124)$$

Тенгликни бошқа ечимини олсак, қуйидагича бўлади.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Агар компрессордаги ҳаво босимининг ортиш даражасини π деб белгилаб олсак:

$$\pi = \frac{P_2}{P_1}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Циклнинг термик Ф.И.К. нинг ифодаси $\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$ (125)

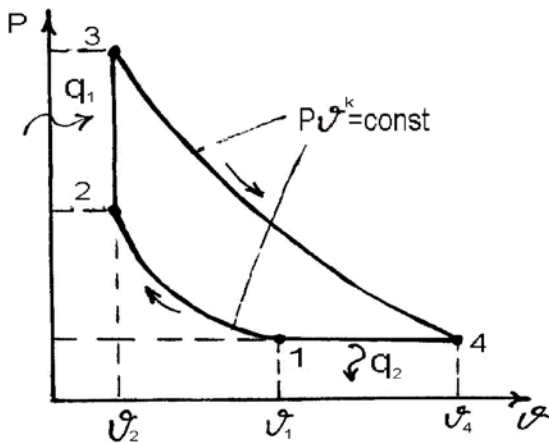
Бу ифодани қисиш даражаси (ε) билан ҳам ифодалаш мумкин.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^{\kappa-1} = \varepsilon^{\kappa-1}$$

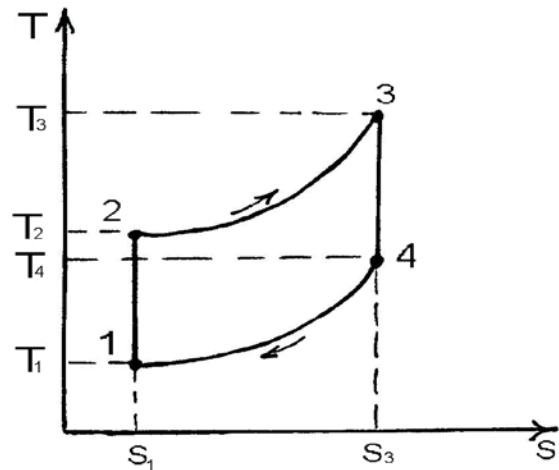
Демак, $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$ (126)

3.

4. $\vartheta = \text{const}$ бўлганда иссиқлик бериладиган ГТК иш цикли



49-шакл



50-шакл

ГТК нинг ёниш камерасидаги клапанлар ёниш жараёнида ёпиқ бўлганлиги учун (q_1 берилаётганда) $v = \text{const}$ бўлади.

Бундай цикл жараёнлари $p\vartheta$ ва Ts координаталарида 49 ва 50-шаклларда ифодаланган.

Газга берилган q_1 ва газдан совутгичга ўтиб кетган q_2 иссиқлик микдорларини $q_1 = c_v (T_3 - T_2)$ ва $q_2 = c_p (T_4 - T_1)$ деб белгилаб оламиз.

$\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ - ёниш жараёнидаги босимнинг ортиш даражаси.

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$ - компрессордаги ҳаво босимининг ортиш даражаси.

1-2 адиабатик жараён учун

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \quad \text{ёки} \quad T_2 = T_1 \cdot \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

2-3- изохора жараёни учун эса,

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} = \lambda \quad \text{ёки} \quad T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \cdot \lambda \cdot \pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

3-4- адиабата жараёни учун

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{p}{p_1 \lambda \cdot \pi} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

тенгликни T_4 га нисбатан ечсак қуйидагича кўриниш олади.

$$T_4 = T_3 \frac{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = T_1 \cdot \lambda \frac{1}{\lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

Энди циклниң термик Ф.И.К. ни аниқлаймиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)} = 1 - K \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{\frac{T_4}{T_1} - 1}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \right)$$

Хароратларниң қийматларини π ва λ оркали ифодаласак,

$$\eta_t = 1 - \frac{K \left(\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1 \right)}{\pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} (\lambda - 1)} \quad (127)$$

Демак, циклниң ф.и.к. фақат π ва λ ниң қийматларига боғлиқ.

126 ва 127 ифодаларни ўзаро таққосласак, тенг хароратларда ва ε ва π ниң бир хил қийматларида $\mathcal{Q} = \text{const}$ бўлганда (q_1) иссиқлик бериладиган ГТК да циклниң термик ф.и.к. юқориқ бўлади.

4.Реактив двигателлар цикллари

Биз танишиб чиққан поршенли ва газ турбинали ички ёнув иссиқлик двигателлари техниканиң барча соҳаларида кенг қўлланилмоқда. Техниканиң хозирги замон турлари, айниқса авиацияда, жуда катта қувват талаб қила бошлади. Битта куч агрегат (қурилмаси)да катта қувват олиш имконияти реактив двигателларда мужассамлашган. Бундай двигателлар катта қувват бериши билан бирга тузилиши (поршенли И.Ё.Д. ларига қараганда) содда.

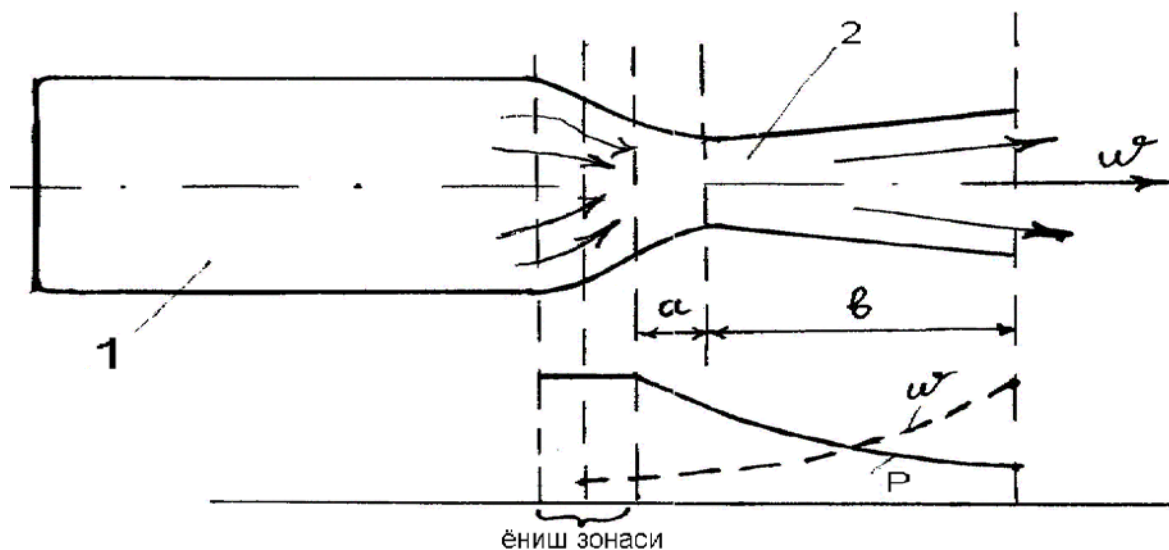
“Реактив” сўзиниң маъноси: **актив** - фаол (куч), **ре** - тесқари, акс маъносини билдиради. Демак, “реактив”- актив (фаол)га қарши куч ҳосил қилувчи қурилма, двигател ҳисобланади.

Хозирги кунда реактив двигателлариниң хар хил турлари қўлланилмоқда: каттик ёнилғили РМ (реактив двигател); суюқ ёнилғили РД, турбореактив двигател-лар (ТРД), турбовинтли двигателлар (ТВД) ва бошқалар. 51-шаклда реактив қурилманиң энг содда схемаси келтирилган.

Реактив қурилма (двигател) ниң ишлаши ҳам содда, ёниш камераси (1) га киритилган суюқ ёки қаттик ёнилғи ва оксидловчи газ аралашиб ёниши натижасида газда (тутунда) босим ҳосил бўлади. Ёниш камерасиниң давомига (2) сопло (туркагич) ўрнатилган бўлиб, ёниш мақсулотлари жуда катта тезлик

билан (сопло оркали) ташқарига отилиб чиқади. Шаклда газ босими p ва тезлиги W нинг сопло узунлиги бўйлаб ўзгариш жараёни кўрсатилган.

Хозирги замон РД ларидан катта тезлик олиш учун комбинациялашган (омухта) соплолар қўлланилмоқда.



51-шакл

51-шаклда ифодаланган сопло 2 қисмдан иборат: а - торайиб борувчи сопло, в - кенгайиб борувчи сопло бўлиб ҳисобланади. Бундай мураккаб, комбинациялашган соплови - "Ловаль" соплови деб юритилиб, отилиб чиқаётган газларнинг тезлигини критик тезликдан (товуш тезлигидан) оширишга имкон беради.

Шундай қилиб, реактив двигателларда ҳаракатлантирувчи (итарувчи) куч бўлиб, отилиб чиқаётган газ массасининг акс таъсир кучи ҳисобланади.

Реактив қурилмалар цикллари ҳам икки хил бўлиши мумкин, $P = \text{const}$ ёки $\rho = \text{const}$ да иссиқлик бериладиган реактив қурилмалар.

Агар газнинг соплодан отилиб чиқиш тезлигини W билан ифодаласак,

газнинг чиқишида олинадиган иш миқдори:

$$\ell = \frac{W^2}{2} \quad (128)$$

Реактив қурилманинг термик ф.и.к:

бу ерда, H_{ap} - ёнилғи ва оксидловчи газ аралашмасининг иссиқлик бериш имконияти

Мавжуд реактив қурилмаларда:

$$W = 2000 \dots 2500 \text{ м/сек (7200 \dots 9000 км/соат)}$$

$$H_{ap} = 6000 \dots 10000 \text{ кж/кг}$$

Реактив қурилмаларнинг ф.и.к.ни аниқлаш ҳам ГТК нинг циклларидаги каби бўлади, яъни

а) агар циклда q_1 иссиқлик $P = \text{const}$ берилса, $\eta_t = 1 - \frac{1}{\pi^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$

б) агар циклда q_1 иссиқлик $\rho = \text{const}$ да берилса, $\eta_t = 1 - \frac{K \left(\lambda^{\frac{1}{k}} - 1 \right)}{\pi^{\frac{k-1}{k}} (\lambda - 1)}$

Маъруза №10. – 2 соат

Мавзу: Сув буғлари ва унинг асосий хусусиятлари

Мақсад: Сув буғлари ва унинг асосий хусусиятларини ўрганиш. Сув буғининг ҳосил бўлиши, улар учун “ p ” ва “ T ” диаграммаларини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Асосий тушунчалар.
2. Сув буғи учун диаграммалар.
3. Буғ - куч қурилмасининг ишлаш схемаси
4. Сув буғи учун Корно цикли.
5. Сув буғи учун Ренкин цикли.
6. Иссиқлик билан таъминлаш асослари.

1. Асосий тушунчалар

Иссиқлик машиналарида, иссиқлик двигателларида, иситиш қурилмаларида ишчи жисм сифатида сув буғлари қўлланилади, чунки, сув арзон, запаси кўп ва термодинамик кўрсаткичлари нисбатан яхши.

Сувнинг суюқ ҳолатидан буғ ҳолатига ўтиши **буғланиш** дейилади. Сувнинг буғга айланиши 2 хил йўл билан бўлиши мумкин: **буғланиш** ва **қайнаш**.

Буғланиш жараёнида сув сатҳига яқин сиртдаги молекулалар ўзларидаги кинетик энергия ҳисобига суюқлик ичидан отилиб чиқиб атмосфера (мухит) га чиқиб кетади.

Буғланиш - суюқликнинг очик турган юзасидан ҳар қандай ҳароратда отилиб чиқаётган молекулалар ҳисобига бўлади.

Қайнаш - буғланишнинг фақат суюқлик сиртидан ташқари, бутун суюқлик ҳажми бўйича бўлиш жараёнидир. Физика курсидан маълумки, суюқликларнинг қайнаш ҳарорати унинг турига ва асосан мухит босимига боғлиқ. Масалан, сув тоғ шароитларида, яъни мухит босими паст бўлганда, 100°C дан анча паст ҳароратларда қайнаб кетиши маълум.

Буғнинг суюқликка айланиш жараёнини **конденсация** дейилиб, бундан ҳосил бўлган суюқликни **конденсат** деб юритилади. Шу сабабдан 54 шаклдаги 3-қурилма-нинг номи конденсатор деб юритилади. Дистрланган сув, ёмғир ва қор сувлари ҳам конденсат ҳисобланади.

Суюқликнинг буғланиш жараёнида молекулаларнинг суюқликдан мухитга отилиб чиқишидан ташқари, молекулаларнинг суюқликка қайтиши ҳам содир бўлади. Мухитга отилиб чиқаётган молекулалар сонининг суюқликка қайтиб тушаётган молекулалар сонига тенглашганда **динамик мувозанат** содир бўлади. Бу ҳолатдаги буғни **тўйинган буғ** деб аталади. Тўйинган буғнинг зичлиги максимал буғ зилигига эга.

Буғнинг тўйинган ҳолатга келиши мухит ҳароратига боғлиқ бўлиб, ҳар бир ҳарорат учун тўйиниш ҳарорати мавжуд.

Буғланиш жараёнида мухитга отилиб чиқаётган молекулалар ўзлари билан сувнинг майда томчиларини ҳам олиб чиқишлари мумкин. Шунинг учун тўйинган буғда майда сув томчилари ҳам бўлиб, буғни **тўйинган нам буғ** дейилади.

Агар буғланаётган сувнинг устки қисми (мухит) чегараланган (айтайлик, қопқоқ билан ёпилган) бўлса, маълум шароитда сув томчилари қолмайди. Бундай шароитдаги буғни-**қуруқ тўйинган буғ** деб юритилади.

Кўпинча буғ таркибида маълум миқдорда сув томчилари бўлади. Шу сабабли, буғлар учун **қуруқлилик даражаси** деган тушунча киритилган.

Агар, буғ учун қуруқлилик даражаси $x = 0,9$ бўлса, бунинг мазмуни-буғнинг таркибида 10 % сув томчилари бор дегани бўлади.

Изох; Буғ - модданинг газ ҳолати бўлиб, оддий кўз билан кўринмайди. Агар буғ, буғланиш жараёни, кўзга кўринаётган экан, демак, буғ таркибида сув томчилари бор бўлиб, биз шу сув томчиларини кўрамиз. Тўйинган буғнинг ҳароратини яна оширсак, яъни қиздирсак - ўта қизиган буғ ҳосил бўлади. Ўта қизиган буғларгина тўла газ ҳолатига ўтган бўлади.

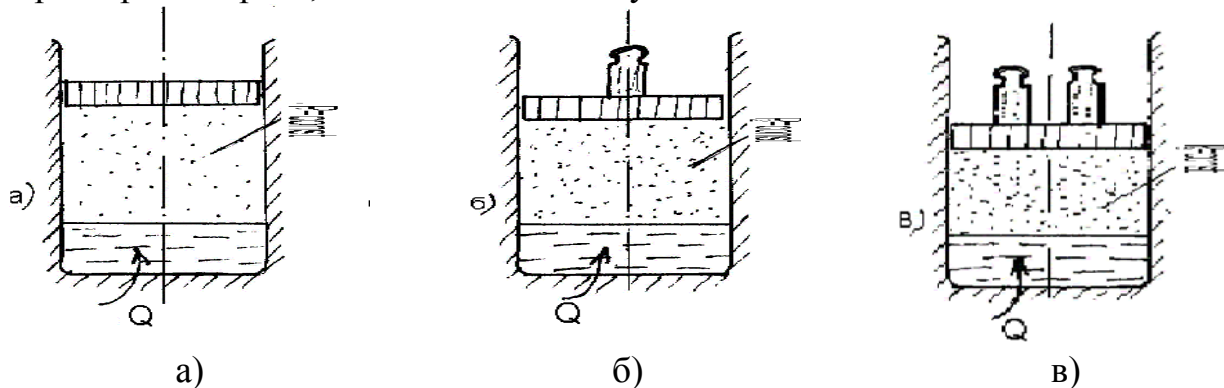
2. Сув буғи учун диаграммалар

2.1. Сув буғи учун “ $p\vartheta$ ” диаграммаси

Ичида кўзғалувчан поршен жойлаштирилган цилиндр ичига сув қуйилиб, иситилмоқда. Бундай шароитда газ (буғ) босимининг ортиши содир бўлмайди, яъни жараён - изобарик жараёндир (53а-шакл).

53б ва 53в-шаклларда ҳам шу жараён бўлиб, поршен устига қўйилган тошлар суяқлик тепасидаги мухит босимини ортиради, яъни $p_2 = \text{const}$, $p_3 = \text{const}$ ва х.к шароитлар ҳосил қилади.

Сувни ҳар-хил миқдордаги ўзгармас босимларда иситиш ва буғлантириш жа-раёнини $p\vartheta$ координаталарида ифодалаймиз. Ўта қизиган тайёр буғ ҳосил бўлиш 3 та боскичда содир бўлади: сувнинг қайнашгача исишидаги изобарик кенгайиш - $a_1, v_1, a_2, v_2, \dots$, изобарик қайнаб буғланиш $v_1, c_1, v_2, c_2, \dots$ ва ўта қизиган буғ ҳосил бўлиши - $c_1, d_1, c_2, d_2, \dots$. Шундай қилиб, $p\vartheta$ координатар системасида 3 та катор нуқталар ҳосил бўлди. Мос номланган нуқталарни ўзаро бирлаштирсак, 3 та чизиқ ҳосил бўлади.



53-шакл

- 1) “а” нукталарни бирлаштирувчи чизиқ - совук сув чизиғи;
- 2) “в” нукталарни бирлаштирувчи чизиқ- иссиқ сув чизиғи, қайнашининг бошланиши қуйи чегара чизиғи.
- 3) “с” нукталарни бирлаштирувчи чизиқ - қайнаш (буғланиш) нинг тугаш чизиғи — юқори чегара чизиғи.

Сув учун бу нукта кўрсаткичлари; $p_{кр} = 220 \text{ бар}$ ($225,5 \text{ ат}$), $T_{кр} = 647 \text{ }^{\circ}\text{K}$ ($374 \text{ }^{\circ}\text{C}$), $\rho_{кр} = 0,003 \text{ м}^3/\text{кг}$ критик ҳолатдаги суюқлик учун буғнинг ва суюқликнинг хусусиятлари бир хил бўлади.

1- совуқ сув қисми; II - иссик сув қисми, III - қайнаш, буғланиш қисми; IV - ўта қизиган буғ қисми.

АК - қуйи чегара чизиғида буғланиш бошланади, буғнинг қуруқлик даражаси $X=0$

КС - юқори чегара чизигида буғланиш тугайди, буғнинг куруқлик даражаси $X=1$, яъни 100% ли буғ хосил бўлади.

Сув буғи хосил бўлишида иссиқлик миқдорининг сарфланишини хисоблашда “Ts” диаграммаси жуда қулай, чунки бу координаталарда графикдаги юза иссиқлик миқдори ифодалайди.

ак ва кс - қўйи ва юқори чегара чизиклари;

а - изобара чизигининг бошланиши, 0^0 C (273^0 K) T_0 ;

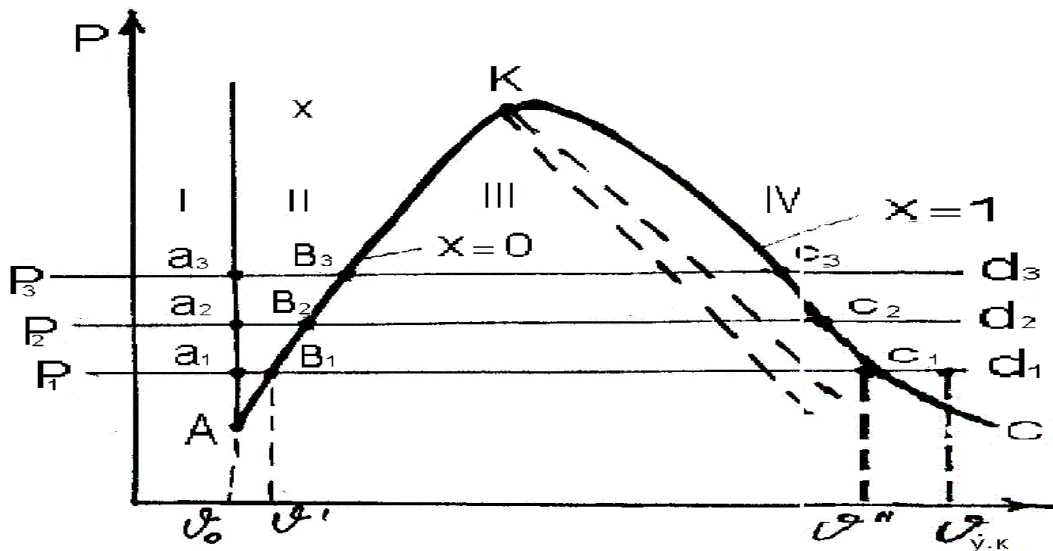
ав- сүвни қайнаш хароратигача изобарик иситиш;

i - қайнашгача иситиш учун сарфланган иссиқлик миқдори;

вс - изобарик қайнаш жараёни бўлиб, бир вақтнинг ўзида изотерма бўлиб ҳам хисобланади, чунки, қайнашнинг бошланишидан тугагунча сувнинг ҳарорати ўзгармайди;

г - юза маълум маштабда сувнинг тўла буғланиб тугаши учун сарфланадиган иссиқликни билдириб - буғланиш иссиқлиги дейилади;

q_{yk} -тўйинган (куруқ) буғдан ўта қизиган буғ ҳосил қилиш учун буғга берилган қўшимча иссиқлик миқдори.

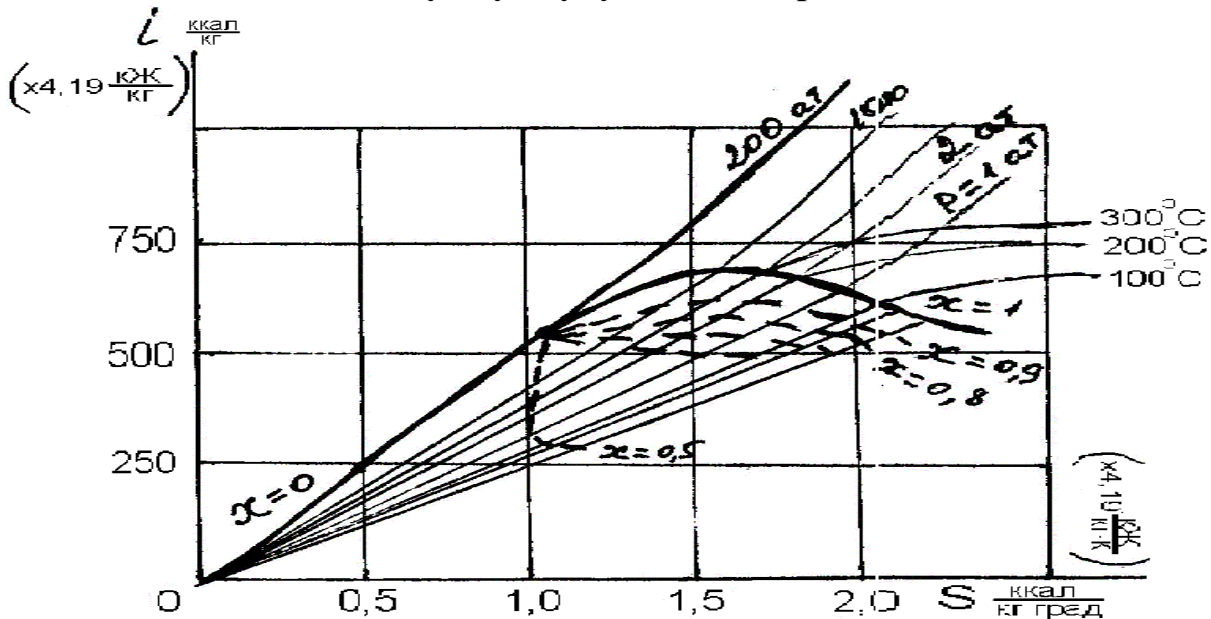


55-шакл

Уччала микдорларнинг йиғиндиси совуқ сувдан ишлатиш учун тайёр бўлган, ўта қизиган (курук) буғ хосил қилишга сарфланадиган иссиқлик микдорини ифодалайди.

$$q = i + r + q_{\text{ук}}$$

2.3. Сув буғи учун «is» диаграммаси



56-шакл.

Сув буғининг иссиқлик ҳисоб - китобларида “Ts” диаграммасидан фойдаланиш анча қулайликларга олиб келади. Лекин, бу координаталарда иссиқлик микдорини аниқлаш учун эгри чизиқлар билан чегараланган (қинғир - қийшиқ) юзаларни ўлчашга туғри келади. Иссиқлик ҳисобларида бу бироз қийинчилик ва ноаниқлик келтириб чиқаради.

is координаталардаги сув буғининг диаграммасида иссиқлик микдори (энтальпия) чизиқ узунлиги билан ифодаланганлиги учун ҳисоблашларга қулайлик ва аниқлик киритади.

56-шаклда “О” нуктадан чиқаётган изобара чизиқлари $x=1$ чизиғигача (қайнаб тугагунча) изотерма билан бирга кетади. Юқори чегара чизиғи ($x=1$)

дан кейин изобара чизиги юқорига тик кўтарилади, изотерма чизиклари эса пастроққа қараб оғиб кўтарилади.

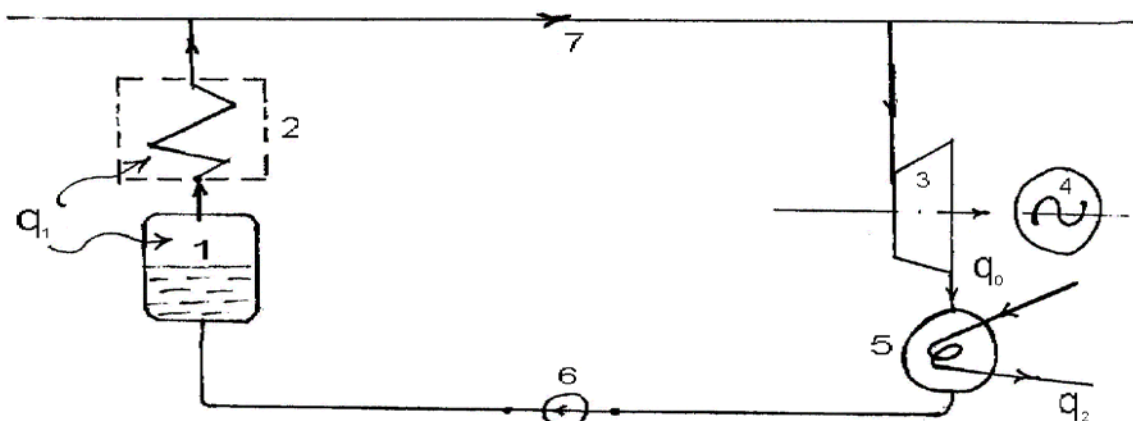
Шаклда буғнинг қуруқлик даражаси бир хил бўлган чизиклар ҳам берилган ($x_1=0,90$; $x_2=0,8$ ва х.к.). 56-шаклда абцисса ва ордината ўқларида МКГС бирликлари системасида берилган. Керакли пайтда СИ системасига ўтиш учун олинган қийматларни $1 \text{ ккал} = 4,19 \text{ кЖ}$ га кўпайтирсак етарли бўлади.

Иссиқлик машиналарининг ҳисобларида юқори босим ва қуруқлик даражаси 0,5 дан юқори бўлганлиги учун, амалий фойдаланишга мўлжалланган “is” диаграммалари нолдан бошланмайди. Диаграмманинг “К” нуқтадан чапроғи ва юқорироғи масштабларда берилади, яъни энтальпиянинг $i = 1500 \frac{\text{кЖ}}{\text{кг}}$

ва энтропиянинг $s = 4000 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ дан юқори қисми кўпроқ амалий аҳамиятга эга.

Диаграммадаги миқдорлар ва сув буғининг кўрсаткичлари олимлар томонидан (масалан, рус олими М.П.Вукалович) жадвал холига ҳам келтирилган бўлиб, дарсликларда илова сифатида берилиши мумкин.

3.Буғ - куч қурилмасининг ишлаш схемаси

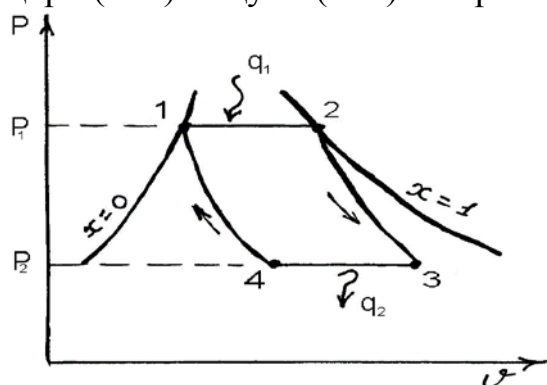


57-шакл.

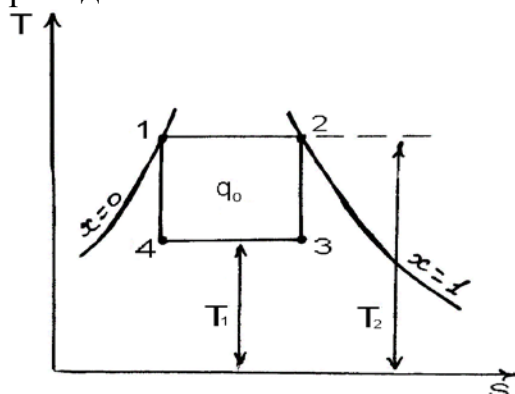
Буғ қозони (1) дан чиқаётган тўйинган буғ, буғ қиздиргич (2) да изобарик қурийди ($x=1$) ва қизийди. Юқори ҳарорат ва босимдаги буғ қувур (7) орқали турбина (3) га бориб роторни айлантиради, яъни буғнинг босим энергияси механик энергияга айланади. Турбина роторидаги механик энергияни шу вал давомига уланган электрогенератор (4) билан электр энергиясига ўтказиб олиш мумкин. Асосий энергиясини бериб бўлган буғ сув билан совутиб туриладиган конденсатор (5) га ўтиб, сувга айланади. q_2 иссиқлик миқдори совутовчи сув билан чиқиб кетади. Конденсатор сув насос (6) орқали яна буғ қозонига юборилади ва цикл такрорланаверади. Чизмадан кўриниб турибдики, ишчи жисм (сув, буғ) га берилаётган иссиқлик миқдори q_1 икки босқичда берилади: сувни қайнатиш ва буғ ҳосил қилишда, ҳамда буғ қиздиргичда буғни қуриштиш ва қиздиришда.

4.Сув буғи учун Корно цикли

Тўйинган қуруқ буғ учун Карно циклини “ $p\vartheta$ ” ва “ Ts ” координаталарида юқори ($x=1$) ва қуйи ($x=0$) чегара чизиклари орасида чизамиз.



58-шакл



59-шакл

1-2 чизиғи (жараёни) изотермик ва шу билан бирга изобарик жараён хисобланади.

2-3 буғ турбинасидаги буғнинг адиабатик кенгайиш жараёни.

3-4 изобарик ва бир вақтнинг ўзида изотермик шароитда буғнинг конденсацияланиш жараёни.

4-1 нам буғнинг адиабатик қисилиши (компрессорда).

Буғга берилган ва ундан совутгичга ўтган иссиқлик миқдорлари:

$$q_1 = (x_2 - x_1) \cdot r_1 \quad \text{Ж/кг}$$

$$q_2 = (x_3 - x_4) \cdot r_2 \quad \text{Ж/кг}$$

бу ерда, r_1 - p_1 босим шароитида буғ ҳосил бўлиши учун керакли иссиқлик миқдори;

r_2 - p_2 босим шароитида буғ ҳосил қилиш учун керакли иссиқлик миқдори.

Циклда фойдаланилган иссиқлик миқдори “ Ts ” координаталарида 1-2--3-4-1 юза билан ифодаланади.

$$q_0 = q_1 - q_2 = r_1(x_2 - x_1) - r_2(x_3 - x_4)$$

Нам буғ учун Карно циклининг термик ф.и.к. учун ифода:

$$\eta_t = \frac{q_0}{q_1} = \frac{r_1(x_2 - x_1) - r_2(x_3 - x_4)}{r_1(x_2 - x_1)} \quad (134)$$

Тўйинган қуруқ буғ учун $x_1=0$ ва $x_2=1$ бўлганлиги учун термик ф.и.к:

$$\eta_t = 1 - \frac{r_2}{r_1}(x_3 - x_4) \quad (135)$$

Сув буғи учун Карно циклининг термик ф.и.к.ни иссиқлик манбаи ва совутгич ҳароратлари орқали ҳам ифодалаш мумкин :

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (136)$$

1кг қуруқ тўйинган буғнинг фойдали иши “ $p\vartheta$ ” координаталарида 1-2-3-4-1 юза билан ифодаланади:

$$\ell_o = r_1 \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (137)$$

Тўйинган буғ учун умумий ҳолда

$$\ell_0 = r_1(x_2 - x_1) \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (138)$$

Карно циклининг термик ф.и.к. юқори (назарий) бўлиши билан бирга унинг асосий камчилиги, ишлаб бўлган буғнинг конденсаторда тўла сувга айланмаслиги бўлиб, компрессор буғ-сув аралашмаси, яъни катта ҳажмли массани қисиши керак бўлади. Катта ҳажмни қисиш учун эса катта энергия талаб қилинади.

5. Сув буғи учун Ренкин цикли

Буғ куч қурилмалари (БҚК) учун Ренкин цикли асос қилиб олинган.

Карно циклидан бу циклниң фарқи шундаки, буғ конденсаторда тўла сувга айланади. Компрессор катта ҳажмли буғ-сув аралашмасини эмас, фақат кичик ҳажмли сувни қисади, бу эса БҚК нинг ф.и.к. ни анча ортишига олиб келади.

Ренкин циклини “pV” ва “Ts” диаграммларида ифодалаймиз:

Ренкин цикли (60 ва 61-шакллар) да келтирилгин:

1-2 - чизиғи сувни қисиб буғ қозонига узатиш жараёни (чизиқ вертикалдан бироз чапга оғади). “Ts” диаграммасида 1 ва 2 нукталар устма-уст тушади.

2-3 - сувни буғ қозонида қайнатиш (изобарик) жараёни;

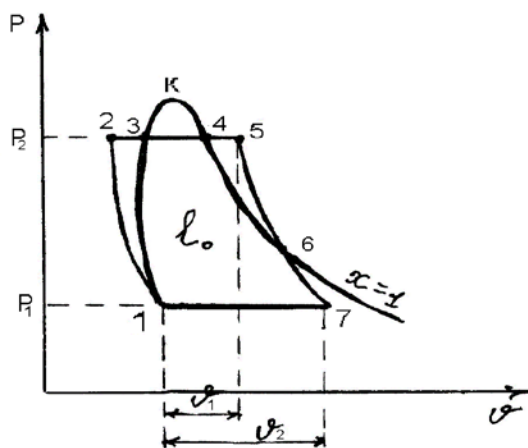
3-4 - сувни (изобарик) буғланиш жараёни;

4-5 - буғни (изобарик) қиздириш жараёни;

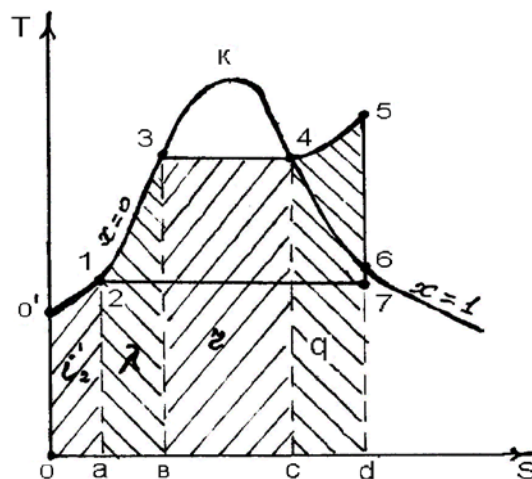
5-7 - ўта қизиган (қуруқ) буғни турбинада (адиабатик) кенгайиб механик иш бажа-

риш жараёни;

7-1 - ишлаб бўлган буғни конденсатордаги (изобарик) кичрайиши бўлиб, буғ сув ҳолатига ўтади;



60-шакл



61-шакл

Ts диаграммада:

i_2^1 - юза 0-0'-2-a-0- конденсат сувдаги қолдиқ иссиқлик миқдори;

λ - юза: 2-3-в-a-2- сувни шу босимда тўйиниш ҳароратигача қиздириш учун сарфланган иссиқлик миқдори;

g - юза 3-4-с-в-3- буғ ҳосил қилиш иссиқлиги, яъни қайнашнинг бошланишидан тўла

буғланиб бўлгунча сарфланадиган иссиқлик миқдори;

$q_{y,k}$ - тўйинган қуруқ буғни ўта қиздириш учун сарфланадиган иссиқлик миқдори- юза: 4-5-d- с- 4;

Юза: 1-7-d -а -1 -- ишлаб бўлган буғни совутгичга берадиган q_2 иссиқлик миқдори.

Циклда олинган фойдали иш:

$$\ell_0 = i_1 - i_2 \quad (139)$$

бу ерда, i_1 - буғ қозонида ва буғ қиздиргичда сувга ва буғга берилган иссиқлик миқдори.

i_2 - конденсатордаги совитувчи сув билан чиқиб кетаётган иссиқлик миқдори.

Циклнинг термик ф.и.к.
$$\eta_t = \frac{q_0}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_2^1} \quad (140)$$

Агар сув буғи учун Карно ва Ренкин циклларини ўзаро таққосласак, Карно цикли тежамлироқ, яъни ф.и.к. юқорироқ эканлиги билинади.

Буғ-куч қурилмаларининг термик ф.и.к. унинг тўла авзаллигини ифода қила олмайди. Асосий кўрсаткич БКК учун солиштирма буғ сарфи бўлиб хисобланади, яъни 1квт.соат электр энергияси олиш учун сарфланган буғ

кг.ларда.
$$d_0 = \frac{3,6 \cdot 10^6}{i_1 - i_2} \frac{\text{квт} \cdot \text{соат}}{\text{кж}} \quad (141)$$

Ёки 1 квт.соат электр энергияси олиш учун сарфланадиган солиштирма иссиқлик миқдори:

$$q_0 = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\eta_t} \frac{\text{квт} \cdot \text{соат}}{\text{кж}} \quad (142)$$

Ренкин цикли термик ф.и.к. нинг сон қиймати буғнинг асосий кўрсаткичларига боғлиқ.

6.Иссиқлик билан таъминлаш асослари

Ишлатаётган буғ - куч қурилмаларидаги буғнинг бошланғич ва охирги босим ҳамда хароратларида циклнинг ф.и.к. лари юқори эмас. Бунинг сабаби, 50% яқин иссиқлик миқдори (q_2) конденсаторда совутгичга ўтиб кетади.

Бу йўқотилаётган иссиқлик миқ-дори “Ts” диаграммасида а - е - e^1 - a_0 - а юза билан ифодаланган (62-шакл). Шунча миқдордаги иссиқликни фойдали ишга сарфлаш мумкин. Одатдаги БКК ларида q_2 иссиқликдан фойдаланиш имконияти йўқ, чунки конденсатордан чиқаётган совитувчи сувнинг харорати хоналарни иситишга етарли эмас (30...35°C).

q_2 иссиқликни технологик жара-ёнлар, хоналарни иситиш ва бошқа мақсадларда ишлатиш учун унинг харорати (T_2) юқорироқ бўлиши керак.

Маъруза №11. – 2 соат

Мавзу: Нам ҳавонинг хусусиятлари.

Мақсад: Нам ҳавонинг асосий кўрсаткичлари, нам ҳавонинг газ доимийси ва энтальпияси ҳамда нам ҳаво учун “id” диаграммасини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Нам ҳавонинг асосий кўрсаткичлари.
2. Нам ҳавонинг газ доимийси ва энтальпияси.
3. Нам ҳаво учун “id” диаграммаси.

1. Нам ҳавонинг асосий кўрсаткичлари

Атмосферадаги нам ҳаво иссиқлик техникасида ишчи жисм сифатида жуда кўп соҳаларда қўлланилади. Иссиқлик двигателларининг деярли барчасида, қуритиш қурилмаларида, хоналарни ва технологик жараёнларни шамоллатишда, двигателларнинг совутиш тизимларида ва х.к. ларда ишчи жисм - атмосферадаги ҳаво билан тўйинган ёки ўта қизиган ҳолатдаги сув буғининг аралашмасидир. Сув буғи билан ҳавонинг бундай механик аралашмасини - **нам ҳаво** дейилади.

Ҳаво таркибида сув буғлари кўп ҳолларда ўта қизиган ҳолатда ва буғнинг аралашмадаги босим улуши кам бўлганлиги учун (шунинг учун ҳаводаги буғ кўзга кўринмайди) нам ҳаво ҳам идеал газга жуда яқин туради. Шу сабабдан идеал газ аралашмаларининг қонуниятларига нам ҳаво ҳам тўла бўйсунди.

Дольтон қонунига кўра нам ҳавонинг босими - қуруқ ҳаво парциал (босим улуши) босими билан буғнинг парциал босимларининг йиғиндисига тенг:

$$P_{\text{бар}} = P_x + P_6 \quad \text{ёки} \quad B = P_x + P_6 \quad (158)$$

бу ерда $P_{\text{бар}}$ -нам ҳавонинг барометрик босими;

P_x - қуруқ ҳавонинг парциал босими;

P_6 -сув буғининг парциал босими (босим улуши) .

Босимлар бирикмалари амалда кўпинча миллиметр симоб устунида (мм.см.уст.) берилади.

Агар нам ҳаво таркибидаги сув буғи қизиган ҳолатда бўлса, унинг зичлиги қуруқ тўйинган буғ зичлигидан озроқ бўлиб, буғнинг босими p_6 ҳам тўйиниш босими p_t дан камроқ бўлади. Бундай ҳаво намликка тўйинмаган ҳисобланади.

Агар нам ҳаво таркибида қуруқ тўйинган буғ бўлса, унинг зичлиги $\rho_6 = \rho_t$, яъни буғнинг зичлиги тўйиниш зичлиги билан баробар. Бу ҳолатда қуруқ буғнинг парциал босими, шу ҳарорат учун тўйиниш босимига тенг бўлади. Бундай ҳаво намликка тўйинган бўлиб, таркибида шу шароит учун максимум сув буғи мавжуд бўлади.

Агар нам ҳаво таркибида нам тўйинган буғ бўлса, унинг зичлиги (ρ_6) шу ҳарорат учун қуруқ тўйинган буғ зичлигидан ортиқ бўлиб, бундай ҳаво таркибида буғ миқдори тўйиниш миқдоридан ҳам ортиқча бўлади.

Сув буғининг парциал босимидаги (p_6) тўйиниш ҳароратини “**шудринг нуктаси**” дейилади. Шундан ҳарорат сал пасаяди ҳавода сув конденсацияланади, яъни шудринг томчилари ҳосил бўлади.

1м^3 ҳаводаги сув буғининг граммларда ифодаланган миқдори “**мутлок (абсолют) намлик**” дейилади.

Бир хил ҳароратда ҳаводаги мавжуд буғ массасининг шу ҳарорат ва босимда ҳавога сиғиши (тўйинмасдан) мумкин бўлган буғ массасига нисбати “**нисбий намлик**” дейилади.

$$\varphi = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_T}$$

Зичликлар иккала ҳолатда ҳам шу битта ҳарорат учун олинганлигидан қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\frac{\rho_{\delta}}{\rho_T} = \frac{\vartheta_T}{\vartheta_{\delta}} = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_T} \quad (159)$$

бу ерда, ҳароратлардаги индекслар δ – буғ; T – тўйинишни билдиради.

демак,

$$\varphi = \frac{\rho_{\delta}}{\rho_T} \quad (160)$$

Бу ифода билан нисбий намликни аниқлаш учун нам ҳавонинг тўйиниш босими (p_T) ни шу ҳарорат учун жадвалдан топиш психрометр ёрдамида эса буғнинг парциал босими (p_{δ}) аниқлаш керак.

Махсулотларни ҳаво ёрдамида қуритиш жараёнида нам ҳаводаги қуруқ ҳаво миқдори ўзгармай қолиб, буғ миқдорининг ортириб бориш қуритиш тафсилотини билдиради.

1 кг қуруқ ҳаводаги сув буғининг кг лардаги ифодаси “**намлик миқдори**”

дейилади.

$$d = \frac{m_{\delta}}{m_x}$$

Намлик миқдори (d) ни топиш учун, ҳаво ва сув буғининг ҳолат тенгламаларини оламиз.

$$p_x \cdot V_{ap} = R_x \cdot T_{ap} \quad \text{ва} \quad p_{\delta} \cdot V_{ap} = m_{\delta} R_{\delta} \cdot T_{ap}$$

Иккинчи тенгликни биринчи тенгликка бўламиз.

$$\frac{p_{\delta}}{p_x} = \frac{m_{\delta}}{m_x} \frac{R_{\delta}}{R_x} = d \cdot 1,61$$

чунки, $\frac{R_{\delta}}{R_x} = 1,61$ ҳамда (158) тенгликдан $p_x = B - p_{\delta}$ бўлганлиги учун қуйидаги ифода келиб чиқади.

$$d = 0,622 \frac{p_{\delta}}{B - p_{\delta}} \quad (161)$$

2. Нам ҳавонинг газ доимийси ва энтальпияси

Нам ҳаво, илгари айтганимиздек, ҳаво ва буғ аралашмаси бўлгани учун газ аралашмаси учун универсал газ доимийси ифодасидан фойдаланамиз:

$$\mu_{ap} \cdot R_{ap} = 8314 \quad \text{ёки} \quad R_{ap} = \frac{8314}{\mu_{ap}} = \frac{8314}{\mu_x \cdot r_x + \mu_{\delta} \cdot r_{\delta}} = \frac{8314}{\mu_x \frac{p_x}{B} + \mu_{\delta} \frac{p_{\delta}}{B}} \quad (162)$$

(162) тенгликдаги ҳаво ва буғнинг молекуляр массалари $\mu_x=29$ ва $\mu_6=18$ бўлганлиги учун ҳамда парциал босимлар $P_x=B - P_6$ бўлганлигини ҳисобга олиб, бироз тенгликка ўзгартиш киритамиз.

$$R = \frac{8314}{28,3 - 10,3 \frac{\varphi \cdot p_T}{B}} \quad (163)$$

Нам ҳавонинг энтальпияси қуруқ ҳаво энтальпияси билан d кг сув буғи энтальпиясининг йиғиндисига тенг.

$$i = i_x + di_6 \quad (164)$$

Қуруқ ҳаво учун ўзгармас босимдаги иссиқлик сиғими $C_p = 1006$ ж/кг·град бўлганлиги учун

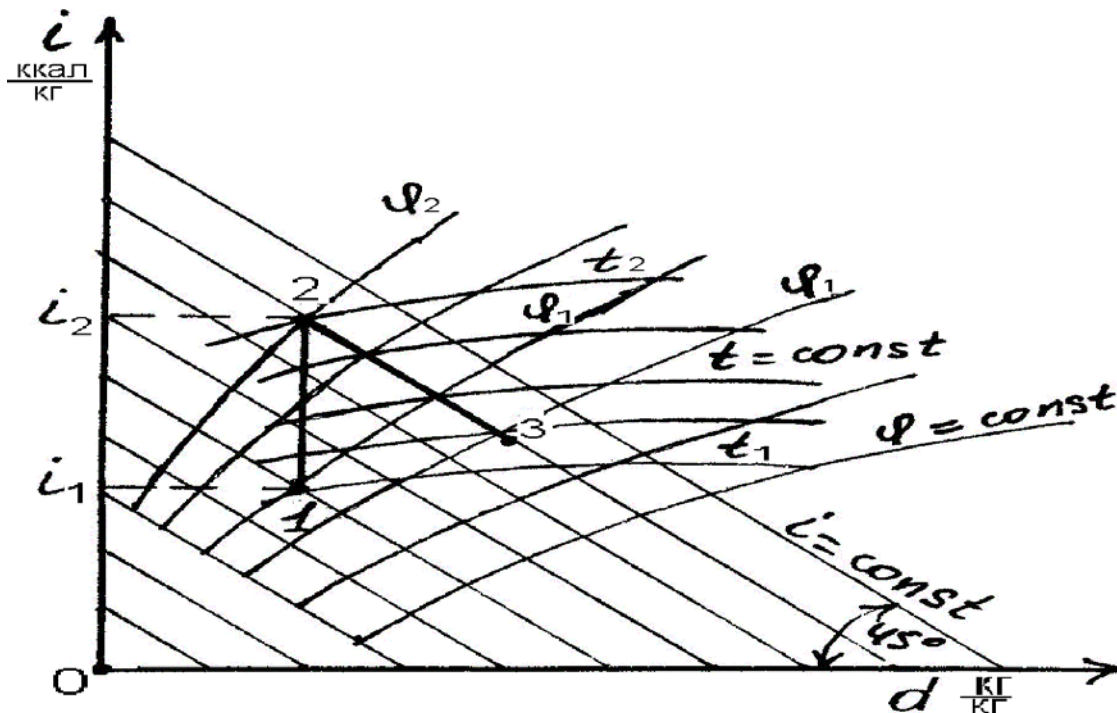
$$i = 1006 t + di_6 \quad (165)$$

3. Нам ҳаво учун “id” диаграммаси

Маҳсулотларни қуриштиш жараёнида қуритувчи ишчи жисм (ҳаво)нинг физик кўрсаткичларини формулалар йўли билан эмас, графикдан фойдаланиб ҳал қилиш анча осонлик туғдиради.

Маҳсулотни қуриштишда қуриётган моддадаги намликни камайтириш хисобига ҳаво намлиги ортиб боради, натижада умумий энтальпия миқдори ўзгармай қолади ($i=\text{const}$).

Л.К.Рамзин нам ҳаво учун “id” диаграммасини таклиф қилган.



69-шакл

Колориферда қуритувчи ҳаво $d=\text{const}$ ҳолатда T_2 ҳароратгача иситилади (1-2 жараён). Колориферда ҳавони иситишга сарфланган иссиқлик миқдори i_2-i_1 координата билан ифодаланади. T_2 ҳарорат ва φ_2 нисбий намликка эга бўлган ҳаво қуриштиш камерасига ҳайдалади, у ерда маҳсулот $i=\text{const}$ шароитида қуриydi.

Қуритувчи ҳавонинг нисбий намлиги ортиб боради, ҳарорати эса камаяди. Қуриётган маҳсулотдан 1кг ҳавога чиққан намлик d_3-d_1 айирмага тенг.

Қуритиш камерасидан чиқаётган ҳавонинг ҳарорати i_d диаграммаси 3 нуктадаги ҳарорат бўлиб ҳисобланади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Нам ҳавонинг асосий кўрсаткичлари ҳақида тушунчангиз?
2. Нам ҳавонинг газ доимийси ва энтальпияси ҳақида маълумот беринг?
3. Нам ҳаво учун “ i_d ” диаграммаси ҳақида тушунча беринг.

Маъруза №12. – 2 соат

Мавзу: Газ ва буғларнинг қувурларда оқиши

Мақсад: Газ ва буғларнинг қувурларда оқиши, ўзгармас меъёрда ва соплодан оқиб ўтишини ўрганиш. Босимларнинг критик нисбати. Критик тезлик. Газ (буғ)нинг максимум сарфи. Газ (буғ) ларни дросселаши ёки эзиши ҳақида маълумот олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Ўзгармас меъёрда оқиш.
2. Газ ва буғларнинг соплодан оқиб ўтиши.
3. Босимларнинг критик нисбати. Критик тезлик. Газ (буғ)нинг максимум сарфи.
4. Газ (буғ) ларни дросселаши ёки эзиши.

1.Ўзгармас меъёрда оқиш

Техниканинг турли соҳаларида узлуксиз газ ёки буғ оқимлари билан ишлашга тўғри келади. Масалан, буғ машиналарида, газ турбиналарида, турбокомпрессорларда, реактив двигател ва қурилмаларда ва х.к.

Газ ва буғларнинг узлуксиз оқими термодинамикада мувозанатлашган, бунда қувур кўндаланг кесими бўйича газ тенг тарқалган, қувур кўндаланг кесими ўзгаргани билан ундан ўтаётган газ миқдори вақт давомида ўзгармас ва газ оқими бўйича асосий кўрсаткичлари ўзгармай қолади. Бундан ташқари газ (ёки буғ) ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайди, яъни адиабатик оқим деб қаралади.

Юқорида қабул қилинган шартларга кўра ўзгарувчан кўндаланг кесимли қувур (труба) дан 1 сек.да оқиб ўтаётган газ массаси қуйидагича бўлади.

$$m = \frac{f_1 \cdot C_1}{g_1} = \frac{f_2 \cdot C_2}{g_2} = \frac{f_3 \cdot C_3}{g_3} = \frac{f \cdot C}{g} = const, \quad m g = f \cdot C \quad (144)$$

бу ерда, m - 1 сек.да қувурдан оқиб ўтаётган газ массаси, кг/сек;

f_1, f_2, f_3 - қувур(лар) нинг кўндаланг кесим юзалари, m^2 ;

g_1, g_2, g_3 - кўндаланг кесимларда газ солиштира ҳажмлари, $m^3/кг$;

C_1, C_2, C_3 - бу кўндаланг кесимларда газ тезлиги, м/сек;

Юқоридаги(144) тенглик газ оқимининг узлуксизлик ёки сидирғалик шартининг аналитик ифодаси ҳисобланади.

Соддалаштириш учун 63-шаклдаги қувурнинг 2 та кесмасини таҳлил қиламиз.

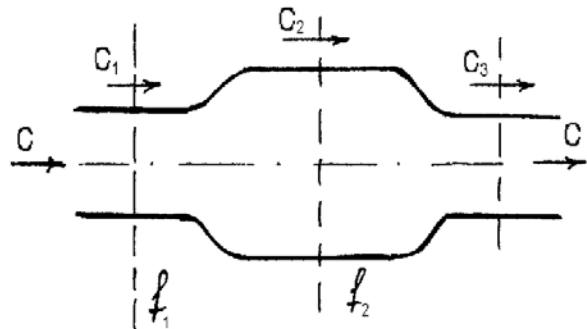
Маълумки, газни тўлиқ энергияси унинг ички энергияси ва кинетик энергияларининг йиғиндисига тенг.

$$u_1 + p_1 \vartheta_1 + \frac{C_1^2}{2} = M_2 + p_2 \vartheta_2 + \frac{C_2^2}{2}$$

бу ерда, u_1 ва u_2 - қувурнинг мос қирқимларида газнинг ички энергияси;

$p_1 \vartheta_1$ ва $p_2 \vartheta_2$ - мос қирқимлардаги газ босими ва солиштирма ҳажм кўпайтмалари бўлиб, газнинг итариш иши деб юритилади.

Газ энтальпияси $i = u + p \vartheta$ бўлганлиги учун



63-шакл

$$i_1 + \frac{C_1^2}{2} = i_2 + \frac{C_2^2}{2} \quad (145)$$

Демак, газ оқими қувурда ўзгармас ва адиабатик бўлганда газ энтальпияси ҳамда кинетик энергиясининг йиғиндиси ўзгармай қолади.

(43) тенгликни бироз ўзгартирсак,

$$\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = i_1 - i_2 \quad (146)$$

бу ерда, $\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} = \ell_0$ - мавжуд иш ёки қувурда ҳаракатланаётган газ кинетик энергиясининг ортиши;

$i_1 - i_2 = h_0$ - иссиқлик пасайиши мавжудлиги.

Демак ёзиш мумкинки $\ell_0 = h_0$, яъни термодинамика биринчи қонунига кўра иш иссиқликка тенг.

2. Газ ва буғларнинг соплодан оқиб ўтиши

Кўндаланг кесими ўзгарувчан қувурда оқаётган газ (кенгайиши ҳисобига) тезлигининг ортиши нуқтаси **сопло** дейилади.

Газ оқимининг сопло (тешиги) орқали ўтиш жараёни 64-шаклда ифодаланган ($p \vartheta$ координаталарида).

Шаклдан кўриниб турибдики, $\vartheta_2 > \vartheta_1$ бўлганлиги учун ҳам $p_2 < p_1$ бўлади. Газ 2-3 адиабатик чизиғи бўйлаб кенгайиш жараёнини бажаради. Шунинг учун, газ оқими кинетик энергиясининг ортиши ташқи ишларнинг фарқи ҳисобига ва кенгайиш иши ҳисобига бўлади. Тўла иш миқдори:

$$\ell = \text{юза (1-2}^1\text{-0-1)} + \text{юза (2-3}^1\text{-2}^1\text{-2)} - \text{юза (4-3-3}^1\text{-0-4)} = p_1 \vartheta_1 + \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta - p_2 \vartheta_2$$

Адиабатик жараён бўлганлиги ва $\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} p d\vartheta = \frac{1}{k-1} (p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2)$ бўлганлиги

учун: $\ell = p_1 \vartheta_1 + \frac{1}{k-1} (p_1 \vartheta_1 - p_2 \vartheta_2) - p_2 \vartheta_2$

Математик ўзгартишлар киритиб қуйидагини ҳосил қиламиз.

$$\ell = \frac{k}{k-1} p_1 \vartheta_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right] = \frac{k}{k-1} p_1 \vartheta_1 \left[1 - \left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} \right)^{k-1} \right] \quad (147)$$

Газ кинетик энергиясининг ортиши

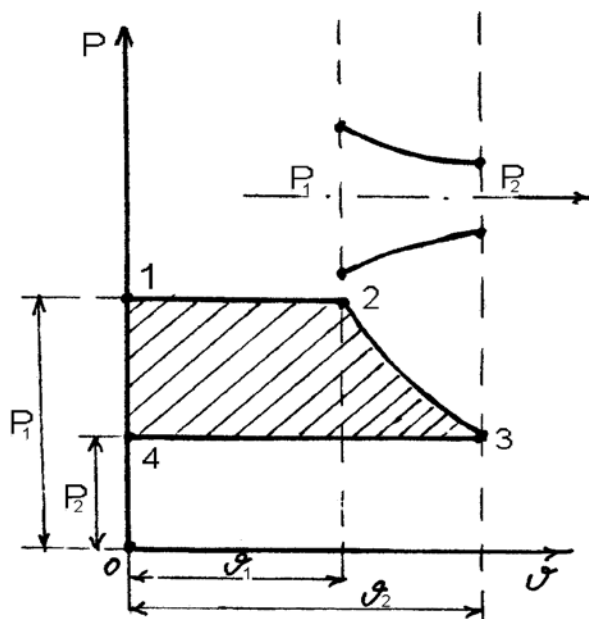
$\ell = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2}$ дан фойдаланиб,

$C_2 = \sqrt{2\ell + C_1^2}$ ни ҳосил қиламиз.

Агар газнинг дастлабки (бошланғич) тезлиги $C_1 = 0$ бўлса, $C_2 = \sqrt{2\ell}$ бўлади.

ℓ - нинг қийматини (147) тенгликдан келтириб қўямиз.

$$C_2 = \sqrt{2 \frac{k}{k-1} p_1 \vartheta_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right]} \quad (148)$$



64-шакл

Бошқа томондан (146) тенгликни C_2 га нисбатан ечсак:

$$C_2 = \sqrt{2(i_1 - i_2)} = 1,415\sqrt{h_0} \quad (149)$$

Сув буғи учун иссиқликнинг пасайиши мавжудлиги (h_0) ни тайёр “is” диаграммасидан фойдаланиб осонгина топиш мумкин. Соплодан буғнинг кенгайиши адиабатик (изоэнтропия) деб қаралганда $S_1 = S_2$. Буғнинг бошланғич (p_1, ϑ_1) ва кейинги (p_2, ϑ_2) ҳолати нуқталарини графикдан топиб вертикал туширилса, h_0 ни миқдорини ўлчаб, масштабга кўпайтирилади.

Энди соплода отилиб чиқаётган газ (буғ) нинг 1 секунддаги сарфланиш миқдорини аниқлаймиз.

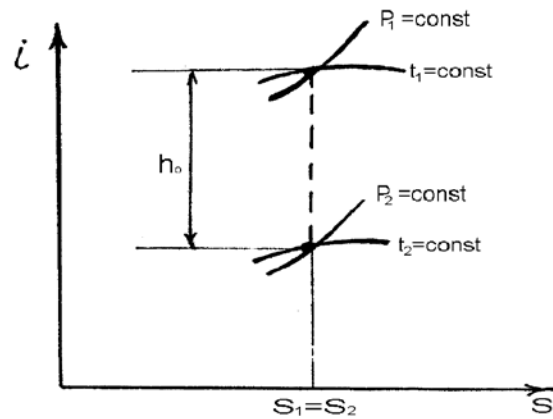
Бунинг учун (144) тенгликдан фойдаланамиз:

$$m = \frac{F \cdot C_2}{\vartheta_2}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{сек}} \quad (150)$$

бу ерда, F - сапло учининг кўндаланг кесими юзаси, м^2 ;

C_2 - сапло учидан чиқётган газ тезлиги, м/сек ;

ϑ_2 - чиқётган газ солиштирма ҳажми, $\text{м}^3/\text{кг}$.



65-шакл

Саплодаги газнинг кенгайиш жараёни адиабатик бўлганлиги учун ҳажм ва босим орасидаги боғланишдан қуйидагича тенгликни кўрамиз.

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}$$

(а) тенгликка C_2 ва V_2 нинг қийматларини (147) ва (148) тенгликлардан келтириб қўямиз ва бироз математик ўзгартишлар киритамиз:

$$m = F \sqrt{2 \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{p_2} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad (151)$$

Формуладан кўриниб турибдики, саплодан отилиб чиқётган газнинг секундлик сарфи газ (буғ) нинг бошланғич ва кейинги кўрсаткичларига ва сапло (тешик) юзасининг сатҳига боғлиқ.

3. Босимларнинг критик нисбати. Критик тезлик.

Газ (буғ)нинг максимум сарфи

Газ оқимининг назариясида товушнинг шу муҳитда тарқалиш тезлиги катта аҳамиятга эга бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$a = \sqrt{kRT}$$

Муҳитдаги товуш тезлиги газ (буғ) турига, босими, хароратига ва зичликларига боғлиқ.

Газ торайиб борувчи саплодан оқиб чиқётган ҳолати билан танишиб чиқамиз. Газ отилиб чиқишида унинг харорати пасайганлиги учун, бу газ оқими ичидаги товуш тезлиги ҳам камаяди.

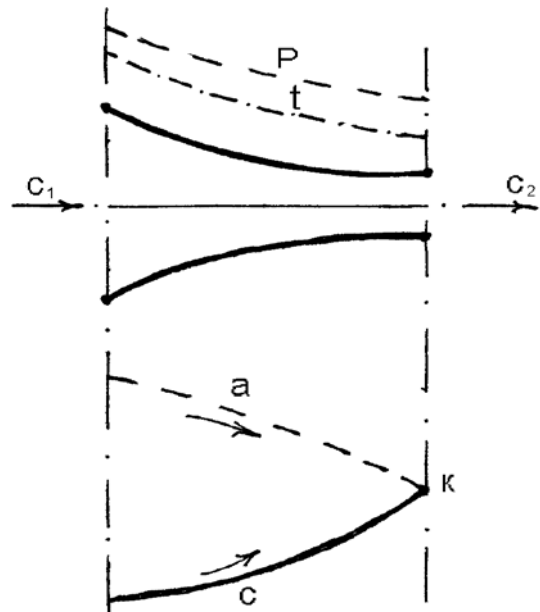
Босимлар p_1 ва p_2 нинг нисбатлари ортиб бориши билан газнинг оқиб чиқиш тезлиги ортади, бу муҳитдаги товуш тезлиги эса камайиб боради. Босимлар нисбатининг маълум қиймати иккала тезлик тенглашади (шаклдаги К нукта). Босимлар нисбатининг бундай қийматини шу сапло учун “Босимларнинг критик нисбати” $R_{кр}$ дейилади.

Шу муҳитда, шу газ тезлиги шароитида товуш тарқалиш тезлигига тенг бўлган газнинг отилиб чиқиш тезлигини критик тезлик ($C_{кр}$) дейилади.

Торайиб борувчи соплода газнинг отилиб чиқиш тезлиги, шу шароитдаги товуш тезлигидан ортиқ бўлиши мумкин эмас, шунинг учун газнинг бошланғич кўрсаткичлари шароитида газ оқимининг максимал қиймати $C_{кр}$ бўлади.

Демак, критик тезлик миқдори газнинг бошланғич p_1 ва охириги p_2 босимларига боғлиқ.

Шундай қилиб, соплодан чиқаётгандаги газнинг чиқиш тезлиги товуш тезлигига тенг бўлиб, $\frac{p_2}{p_1}$ босимлар нисбатининг қийматига боғлиқ.



66-

шакл

$C_{кр} = a$, яъни газнинг отилиб чиқиш тезлиги шу шароит (муҳит) учун товуш тезлигига тенг бўлгандаги босимлар нисбатининг қиймати - **босимларнинг критик нисбати** дейилиб, “ $\gamma_{кр}$ ” харфи билан ифодаланади.

Босимларнинг критик нисбатининг сон қиймати $C_{кр}=a$ тенглик шартидан келиб чиқади. (148) тенглик ва “ m ” нинг тенгликларни ҳисобга олган ҳолда,

бироз математик ўзгартиш киритиб ёзиш мумкин: $\gamma_{кр} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$ (152)

Тенгликдан кўришиб турибдики, босимларнинг критик нисбати фақат адиабата кўрсатки “ K ” га боғлиқ.

Демак, босимлар критик нисбатининг сон қиймати хар - ҳил атомли газлар учун маълум, аниқ қийматларга эга бўлиб, улар қуйидагича:

бир атомли газлар учун $K = 1,67$; $\gamma_{кр} = 0,482$;

икки атомли газлар учун $K = 1,4$; $\gamma_{кр} = 0,528$;

уч атомли газлар ва ўта қизиган сув буғлари, куруқ тўйинган буғ учун $K = 1,135$; $\gamma_{кр} = 0,577$.

(150) тенгликни ва адиабатик жараёндаги газ ҳолати кўрсаткичлари орасидаги боғланишни ҳисобга олган ҳолда критик харорат формуласи келтириб чиқарилади.

$$\frac{T_{кр}}{T_1} = \left(\frac{p_{кр}}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left[\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k-1}{k}} \quad (153)$$

Газ оқимининг торайиб борувчи соплодаги критик тезлигини аниқлаймиз. Бунинг учун $C_{кр}=a$ тенгликдан ва (153) тенгликдан фойдаланамиз.

$$C_{кр} = a = \sqrt{kRT_{кр}} = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} RT_1} = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} p_1 g_1} \quad (154)$$

“К” нинг маълум қийматларида: $K = 1,4; \quad C_{кр} = 1,08 \sqrt{p_1 \vartheta_1};$
 $K = 1,3; \quad C_{кр} = 1,06 \sqrt{p_1 \vartheta_1};$
 $K = 1,135; \quad C_{кр} = 1,03 \sqrt{p_1 \vartheta_1}.$

Энди газ массаси оқимининг максимал қийматини ҳисоблаймиз, бунинг учун (150) тенгликдан фойдаланамиз.

$$m_{\max} = F \sqrt{2 \frac{K}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \frac{p_1}{\vartheta_1}} \quad (155)$$

“К” нинг маълум қийматлари учун ифода ечимлари:

агар,

$$K = 1,4; \quad m_{\max} = 0,688 \cdot F \cdot \sqrt{\frac{p_1}{\vartheta_1}};$$

$$K = 1,3; \quad m_{\max} = 0,668 \cdot F \cdot \sqrt{\frac{p_1}{\vartheta_1}};$$

$$K = 1,135; \quad m_{\max} = 0,638 \cdot F \cdot \sqrt{\frac{p_1}{\vartheta_1}}.$$

Газ отилиб чиқиш тезлигини товуш тезлигидан орттириш учун комбинациялашган (омухта) сапло қўлланилиши керак. Бундай сапло 2 та сопло бирикмаси бўлиб, аввал торайиб борувчи соплода товуш тезлигигача тезлик бўлиб, иккинчи боскич-кенгайиб борувчи сопло қисмида газнинг оқим тезлиги товуш тезлигидан юқори бўлади.

Газ ва буғларнинг отилиб чиқишида қандай турдаги сапло қўлланилиши асосан босимларнинг нисбатига боғлиқ. Агар $\frac{P_2}{P_1} < \gamma_{кр}$ бўлса, торайиб борувчи сопло орқали, аксинча $\frac{P_2}{P_1} > \gamma_{кр}$ бўлса, кенгайиб борувчи сопло орқали отилиб чиқади.

4. Газ (буғ) ларни дросселаш ёки эзиш

Газ ҳаракатланаётган қувур йўлида канал кўндаланг кесимининг кескин камайиши (торайиши) амалиётда тез - тез учраб туради. Қувурнинг бу жойида газ босимининг камайиши содир бўлади, лекин газ ташқи иш бажармайди.

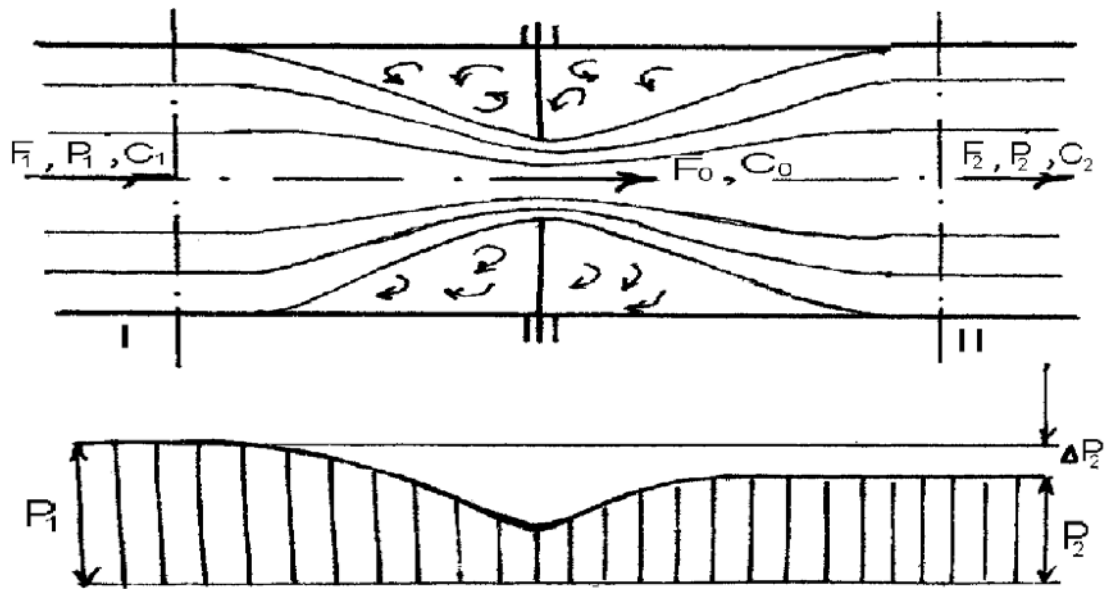
Газ ва буғларнинг қувурнинг торайган жойларидан ўтаётганда босимининг камайиши ходисаси **дросселаш ёки газни эзиш** дейилади.

Газ оқаётган қувур йўлидаги ҳар бир жумрак (кран), диафрагма ёки бошқача усулда трубанинг торайиши дросселашга олиб келади (67- шакл).

Газ оқимининг торая бошлаши диафрагмага етмасдан аввалроқ бошланади. Оқимнинг торайиши диафрагмадан биров ўтгунча давом этади, ундан кейин газ оқими кенгая бориб қувур кенглигини тўла эгаллайди. Диафрагма олдида ва орқасида газ оқими бўлмаган “ўлик зона” ҳосил бўлиб, у ерда газ (буғ) уюрмали ҳаракат ҳосил қилади.

Диафрагма орқасида қувур кескин кенгайганлиги ва уюрмали ҳаракат зонасининг таъсирида p_2 босим p_1 дан биров камроқ бўлиб, уларнинг фарқи Δp бўлади:

$$p_1 - p_2 = \Delta p \quad (156)$$



67-шакл

Газ оқимининг тезлиги диафрагма орқасида ҳам бироз камаяди (C_2), кейинчалик қувурнинг кенглиги бўйлаб оқим ёйилиб тезлик аввалги ҳолатига етади, яъни $C_1 = C_2$ бўлади.

Диафрагма тешиги олдида газ босимининг камайиши унинг кинетик энергиясининг ортишига олиб келади.

$\frac{C_0^2}{2} - \frac{C_1^2}{2}$ - энергиялар фарқи газ заррачалари орасидаги ишқаланиш кучини енгишга, зарб кучини енгишга ва уюрмали ҳаракатдан узишга сарф бўлади. Маълумки, сарфланган иш оқибат натижада иссиқликка айланади ва демак, газ оқимида қўшилиб кетади.

Агар қувур (труба) дан ташқарига бироз иссиқлик чиқишини ҳисобга олмасак, кинетик энергиянинг ўзгариши

$$\frac{C_1^2}{2} - \frac{C_2^2}{2} = i_1 - i_2$$

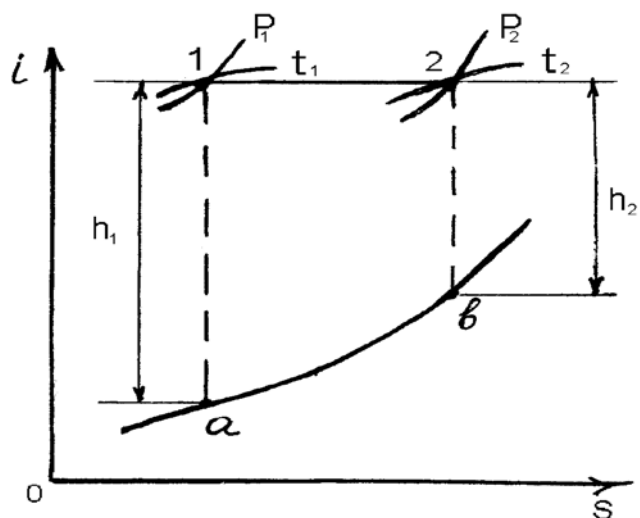
$C_1 = C_2$ эканлигини ҳисобга олсак

$$i_1 \approx i_2 \quad (157)$$

Қувурда оқаётган газни дросселланишида иссиқликнинг энтальпияси ўзгаришсиз қолади, яъни дросселлаш жараёни - изоэнтальпия ҳисобланади.

Идеал шароитда газни дросселлашда ҳарорат ўзгармайди, чунки газнинг энтальпияси ўзгармас. Сув буғи дросселланганда унинг ҳарорати пасаяди.

Сув буғи қувур ичида дросселланганда энтальпиянинг ва ҳароратнинг пасайишининг сув буғи учун “is” диаграммасида кўриш мумкин.



68-шакл

Агар, нам буғ дросселланса, намлиги бироз камаяди, яъни курийди. Кучлироқ дросселланганда куруқ буғ, хатто ўта қизиган буғ ҳосил бўлиши ҳам мумкин. Дросселланганда буғнинг иш қобилияти пасаяди.

Агар дроссель олдида p_1 босимли буғда иссиқликнинг пасайиши h_1 бўлса, дроссель ортида p_2 босимли буғда иссиқликнинг пасайиши h_2 бўлиб (68-шакл):

$$h_2 < h_1$$

Дросселда буғнинг ишлаш қобилиятининг пасайиши буғ турбиналарини бошқаришда кенг қўлланилади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Ўзгармас меъёردа оқиш ҳақида тушунчангиз?
2. Газ ва буғларнинг соплодан оқиб ўтиши.
3. Босимларнинг критик нисбати. Критик тезлик. Газ (буғ)нинг максимум сарфи ҳақида маълумот беринг.
4. Газ (буғ) ларни дросселаши ёки эзиш тушунча беринг.

Маъруза №13. – 2 соат

Мавзу: Иссиқлик ўтказувчанлик

Мақсад: Иссиқлик алмашиниш турлари, Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни, ясси сиртларда иссиқлик ўтказувчанлик ва кўп қатламли ясси деворлардан иссиқликнинг ўтишини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Иссиқлик алмашиниш турлари.
2. Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни.
3. Ясси сиртларда иссиқлик ўтказувчанлик.
4. Кўп қатламли ясси деворлардан иссиқликнинг ўтиши.
5. Цилиндрик шаклдаги деворлардан иссиқликни ўтиши.

1.Иссиқлик алмашиниш турлари

Табиатдаги барча физик жисмлар ва термодинамик тизимлар ҳар қил ҳароратларга эга бўлса, иссиқлик энергияси иссиқроқ жисмдан совуқроқ жисмга ўтади, яъни иссиқлик алмашиниш содир бўлади.

Жисм ичидаги иссиқроқ заррачалардан совуқроқ заррачаларга ёки ҳар қил ҳароратли жисмлар орасида иссиқлик энергиясининг тарқалиш ходисасини— **иссиқлик алмашиниш** дейилади.

Иссиқлик алмашиниш ходисаси саноатдаги ҳар турли технологик жараёнларда, қишлоқ хўжалигида маҳсулот қуриштириш, ем тайёрлаш, сут иситиш ва х.к., одамларнинг турмушида (хоналарни иситиш, овқат тайёрлаш, совутгичлар ва х.к.) кенг қўлланилади.

Иссиқлик энергияси узатилишида жисмлар бир-бирига тегиши ёки тегмасликлари мумкин. Жисмлар бир-бирига тегиб иссиқлик алмашиниши ҳам икки ҳил усулда бўлади; иссиқлик ўтказувчанлик ёки конвекция орқали.

Иссиқлик ўтказувчанлик деб, жисм ичидаги заррачаларнинг ўзаро бир-бирига тегиши ёки жисмларнинг бир-бирига тегиши натижасида иссиқликнинг узатилиши ходисасига айтилади. Бу ходиса жисм заррачалари орасида хароратлар фарқи бўлганлиги учун содир бўлади. Каттиқ жисмларда бу ходиса эркин электронларнинг ўзаро таъсири натижасида, газларда атом ва молекулаларнинг диффузияси ҳисобига, суюқликларда эса, эластик тўлқинлар ҳисобига содир бўлади.

Конвекция деб, суюқлик ва газларда заррачаларнинг шу муҳит ичида аралашуви натижасида иссиқлик алмашилиш ходисасига айтилади. Бу заррачаларнинг хароратлари бир ҳил бўлмаганлиги учун ўзаро тўқнашиши натижасида иссиқлик алмашилиши содир бўлади. Заррачаларнинг бир-бирига тегиши натижасида иссиқлик алмашганлиги учун конвектив иссиқлик алмашилиш иссиқлик ўтказувчанлик билан бирга бўлади.

Харакатдаги муҳит (газ, суюқлик) билан идиш девори орасидаги иссиқлик узатилишини **иссиқлик бериш** дейилади.

Бир жисмдан иккинчи жисмга иссиқликнинг электромагнит тўлқинлари орқали узатилишини - **нурланиш билан иссиқлиги алмашилиш** дейилади. Бунда 2 марта алмашилиш бўлади: аввал иссиқлик энэргияси электромагнит тебранишлари энэргиясига ўтади, бошқа жисмга тушгандан кейин тўлқин энэргияси яна иссиқлик энэргиясига айланади.

2. Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни

Жисм ичида айрим қисмларининг ёки жисм тўла ҳолатда хароратнинг бир ҳил бўлмаслиги, унинг ичида хароратнинг тарқалишига олиб келади. Шунинг учун, иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий вазифаси вақт ва муҳитда хароратнинг тарқалишини аниқлашдир.

Иссиқликнинг тарқалиши ва хароратнинг тақсимланиш жараёни вақт бирлигида иссиқлик миқдорининг ўтиши билан боғлиқ.

Иссиқлик тарқалаётган йўналишга кўндаланг юзадан вақт бирлиги давомида ўтаётган иссиқлик миқдорини- **иссиқлик оқими Q** дейилади. Иссиқлик оқимини юза бирлигига нисбатан олинса, нисбий иссиқлик оқими дейилади ва q билан белгиланади (Вт/м^2 ёки $\text{ккал/м}^2 \text{ соат}$).

Иссиқлик оқими билан банд бўлган муҳитнинг барча нуқталарида, вақтнинг шу пайтидаги хароратлар тўплами - **харорат майдони** дейилади. Агар хароратлар вақт давомида ўзгармаса **барқарор**, ўзгариб турса, **бекарор харорат майдони** бўлади.

Хароратлари бир ҳил бўлган нуқталардан ҳосил бўлган юзани - **изотермик сирт** дейилади.

Маълумки, иссиқ доимо харорати пастроқ томонга оқади, изотермик сиртда харорат бир ҳил бўлганлиги учун, сирт бўйлаб иссиқлик тарқалиши нолга тенг. Шунинг учун иссиқликнинг тарқалиши изотермик сиртлараро бўлиб, сиртга кўндаланг йўналишда, иссиқроқ сиртдан совуқроғига йўналган бўлади.

Харорат ўзгариши (Δt)нинг, изотермик сиртлар орасидаги (нормал бўйича) масофаси (Δn) га нисбатининг чегара миқдори - **харорат градиенти**, дейилади.

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn} = grad \cdot t = \Delta t \left[\frac{0C}{M} \right] \quad (1)$$

Иссиқлик ўтказувчанлик усули билан иссиқликнинг тарқалишида асосий қонуниятини Фурье қонуни ифодалайди: **Иссиқлик оқими, ўзига кўндаланг сиртга, харорат градиентига ва вақтга тўғри пропорционал бўлади.**

$$Q = - \lambda_{\Delta} F \tau \quad (2)$$

ёки нисбий иссиқлик оқими учун

$$q = \lambda_{\Delta} t \quad (3)$$

Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий тенгламаси (3) даги λ пропорционаллик коэффиценти бўлиб - **иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти** дейилади.

Иссиқлик оқимига кўндаланг бўлган сиртнинг $1m^2$ дан, хароратлар фарқи $1^{\circ}C$ бўлганда масофа бирлиги орқали ўтаётган иссиқлик миқдори - **иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти (λ)** дейилади.

$$\lambda = \frac{q}{grad} = \frac{Q}{F \cdot \tau \cdot \frac{\Delta t}{\ell}} \left[\frac{Bt}{M \cdot grad} \right] \quad (4)$$

МКГС бирликлар системасида бу бирлик $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{соат} \cdot ^{\circ}C}$

Хар қил моддалар учун λ коэффицентнинг қийматлари адибиётларда (физика дарсликларида ҳам) берилади. Шунинг эсда тутиш лозимки, λ модда учун доимий сон эмас, унинг миқдори модда хароратига, зичлигига, намлигига, босимига ва структура тузилишига боғлиқ.

3. Ясси сиртларда иссиқлик ўтказувчанлик

1-шаклда бир қатламли ясси сирт ифодаланган. Сирт (тўсиқ)нинг чап томонидаги муҳит t_1 хароратга эга, ўнг томонидаги муҳит t_2 хароратга эга бўлиб, ички (чап) девор иссиқроқ, ташқи девор совуқроқ, яъни $t_1 > t_2$. Демак, иссиқлик оқими q чапдан ўнгга йўналган.

Бу жараён учун Фурье қонуни қуйидагича бўлади:

$$Q = \lambda F \tau \frac{t_1 - t_2}{\delta}, \quad \text{Ж} \quad (5)$$

бу ерда, F - девор (сирт) юзаси, m^2 да;

τ - иссиқлик ўтиш вақти, соат;

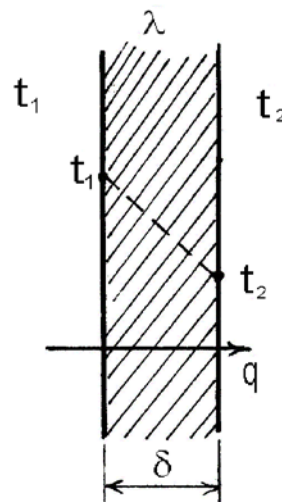
δ - девор қалинлиги, м да.

Солиштирма иссиқлик оқими:

$$q = \frac{Q}{F \cdot \tau} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda}}, \frac{Bm}{M^2 \cdot k} \quad (6)$$

бу ердаги $\frac{\delta}{\lambda}$ нисбат - ясси сиртли

термик қаршилиги дейилади.



1-шакл

(6) тенгликдан керакли пайтда деворнинг ички t_1 ва ташқи харорати t_2 ни аниқлаш қийин эмас.

$$t_1 = t_2 + q \frac{\delta}{\lambda}, \text{ } ^\circ\text{C} ; \quad t_2 = t_1 + q \frac{\delta}{\lambda}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

(7) тенгликларга эътибор берсак, тўғри чизик тенгламаси билан бир ҳил, демак ясси девор қалинлиги бўйлаб харорат тўғри чизик қонунияти билан ўзгаради.

4. Кўп қатламли ясси деворлардан иссиқликнинг ўтиши

Техниканинг турли соҳаларида ва турмушимизда иссиқлик узатилишининг кўп қатламли ҳолатига учраймиз. Масалан, уй деворлари, иситиш печларида девор + сувоқ + бўёқ бўлиши, печь ичларида эса бундан ташқари қурум қатлами ҳам бўлади.

2-шаклда 3 қатламли ясси девор ифодаланган.

бу ерда, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – девор қатламларининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффицентлари;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – девор қатламларининг қалинликлари.

Деворнинг чап (ички) томонида ҳам, ташқи томонида ҳам хароратлар ўзгармас ва улар ўзаро $t_1 > t_2$ нисбатда бўлса, иссиқлик оқими q чапдан ўнга бўлади.

Иссиқлик оқимининг ифодасини хар бир қатлам учун ёзамиз ва қатлам деворларидаги $t_{g1} - t_{g2}$ хароратлар фарқини аниқлаймиз.

Биринчи қатлам учун:

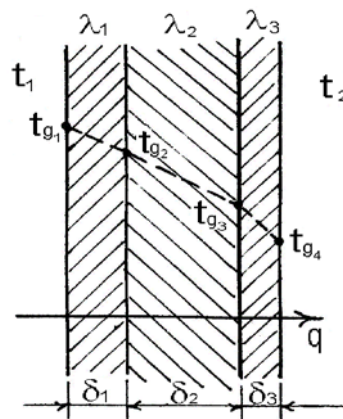
$$q = \frac{t_{g1} - t_{g2}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} \quad \text{ёки} \quad t_{g1} - t_{g2} = q \frac{\delta_1}{\lambda_1} \quad (8)$$

Иккинчи қатлам учун:

$$q = \frac{t_{g2} - t_{g3}}{\frac{\delta_2}{\lambda_2}} \quad \text{ёки} \quad t_{g2} - t_{g3} = q \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad (9)$$

учинчи қатлам учун:

$$q = \frac{t_{g3} - t_{g4}}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad \text{ёки} \quad t_{g3} - t_{g4} = q \frac{\delta_3}{\lambda_3} \quad (10)$$



2-шакл

(8), (9) ва (10) тенгликларнинг ўнг ва чап томонларини ўзаро қўшиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз.

$$t_{g1} - t_{g4} = q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right) \quad \text{ёки} \quad q = \frac{t_{g1} - t_{g4}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \quad (11)$$

Агар қатламлар сони 3 та эмас n та бўлса:

$$q = \frac{t_{g1} - t_{gn+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (12)$$

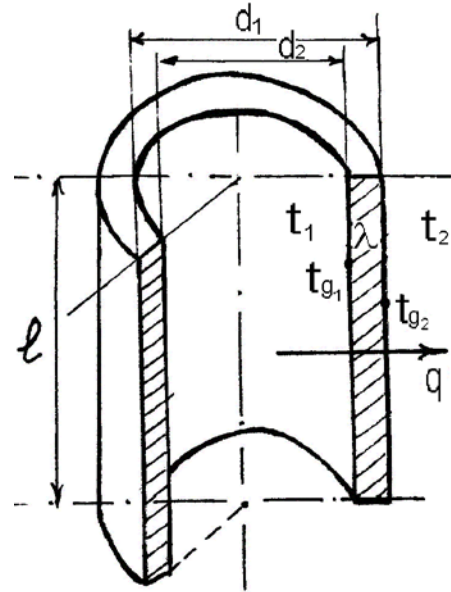
Ясси сиртли деворларни ҳисоблашни соддалаштириш учун иссиқлик ўтказувчанликнинг эквивалент коэффицентидан фойдаланиш мумкин.

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (13)$$

Иссиқлик ўтказувчанликнинг эквивалент коэффиценти қатламлар қалинлик-лари йиғиндисининг қатламлар термик қаршликлари йиғиндисига нисбатига тенг.

5. Цилиндрик шаклдаги деворлардан иссиқликни ўтиши

Техникада ва турмушда кўпинча иситиш ва совутиш мосламалари цилиндрик сирт кўринишда бўлади. 3 шаклдаги; $t_1 > t_2$ –цилиндр ичидаги ва ташқи муҳитдаги хароратлар, λ – цилиндр материалынинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, d_2 ва d_1 – цилиндрнинг ташқи ва ички диаметрлари; t_{g2} ва t_{g1} –цилиндр деворининг хароратлари; L – цилиндр (труба)нинг узунлиги. Цилиндрик сирт бўлганда ҳам ясси сиртлардан иссиқликнинг ўтиши қонуниятларига бўйсинади, фақат девор бир ҳил, шакли бошқа бўлганлиги учун формула шакли бироз ўзгаради.



3-шакл

Фурье қонуни тенгламасини интеграллаш натижасида ўтаётган иссиқлик миқдори ифодасини ҳосил қиламиз.

$$Q = 2\pi\lambda\ell \frac{t_{g1} - t_{g2}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (14)$$

Иссиқлик оқимининг чизиқли зичлиги аниқланиши керак бўлса:

$$q_e = \frac{Q}{\ell} = \frac{t_{g1} - t_{g2}}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (15)$$

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Иссиқлик алмашилиш турлари ҳақида маълумот беринг.
2. Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни ҳақида маълумот беринг.
3. Ясси сиртларда иссиқлик ўтказувчанлик ҳақида тушунча беринг.
4. Кўп қатламли ясси деворлардан иссиқликнинг ўтиши ҳақида тушунчангиз?
5. Цилиндрик шаклдаги деворлардан иссиқликни ўтишини тушунтиринг.

Маъруза №14. – 2 соат

Мавзу: Конвектив ва нурланиш билан иссиқлик алмашиниш.

Мақсад: Конвектив ва нурланиш орқали иссиқлик алмашиниш ўрганиш. Сууюқликнинг эркин ҳаракатидаги, буғланиш ва конденсацияда иссиқлик берилиши ҳамда иссиқлик нурланиши қонунларини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Асосий тушунчалар.
2. Сууюқликларнинг эркин ҳаракати ҳолатида иссиқликнинг берилиши.
3. Сууюқликнинг қайнаши (буғга айланиши) ва сууюқликка айланиши (конденсация) да иссиқликнинг берилиши.
4. Иссиқлик нурланишининг хусусиятлари.
5. Иссиқлик нурланишининг асосий қонунлари.

1. Асосий тушунчалар

Конвектив иссиқлик алмашиниш ходисаси сууюқлик (газ) билан уни тўсиб турган девор орасида уларнинг бевосита бир-бирига тегиши натижасида содир бўлади.

4-шаклда ясси сирт (девор)га сууюқ-лик бўйлама оқим билан тегиб ўтмоқда.

Агар $t_1 > t_2$ бўлса, иссиқлик оқими:

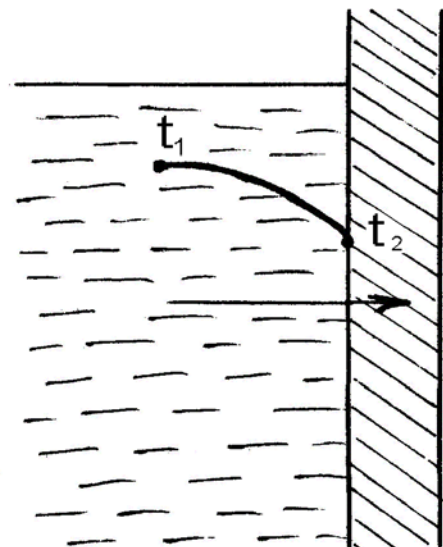
$$Q = \alpha (t_1 - t_2) F \quad (16)$$

бу ерда; t_1 – сууюқлик ҳарорати; t_2 – идиш ички сиртининг ҳарорати; F – идиш деворининг сирти m^2 ; α – иссиқлик бериш коэффициентини. Унинг ўлчов бирлигини аниқлаймиз, (16) тенгликдан:

$$\alpha = \frac{Q}{(t_1 - t_2) \cdot F} \frac{вт}{M^2 \cdot k} \quad (17)$$

Иссиқлик оқимининг зичлиги (q)

$$q = \frac{Q}{F} \frac{вт}{M^2} \quad \text{бўлса,} \quad q = \alpha(t_1 - t_2) \quad \text{бўлади.}$$



4-шакл

Иссиқлик бериш коэффициентини (α)нинг сон қиймати ўзгарувчан бўлиб, кўпгина омилларга боғлиқ:

1.Сууюқлик (ёки газ)нинг физик хусусиятларига (зичлик, қовушқоқлиги, иссиқлик сиғими, иссиқлик ўтказувчанлиги ва хоказо);

2.Идиш деворига нисбатан сууюқликнинг тезлигига, нисбий тезликнинг ортиб бориши билан α ортиб боради (масалан, пиёладаги ёки челадаги иссиқ чойни айлантриб турилса, тез совуши маълум);

3.Идиш деворининг шаклига;

4.Идиш деворининг сирт текислигига;

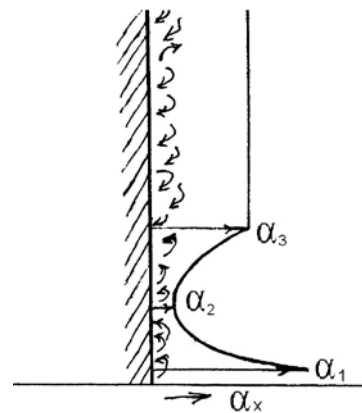
5.Идиш деворига тегиб ҳаракатланаётган суюқликнинг оқиш турига (турбулент ёки ламинар).

Юқоридаги сабаб (омил)ларга кўра, α нинг сон қиймати физик жадвалларда берилмайди. Хар бир аниқ ҳолат учун тажриба йўли билан аниқланиши керак ёки тахминий қийматини «ўхшашлик назарияси» билан ҳисоблаш мумкин.

2. Суюқликларнинг эркин ҳаракати ҳолатида иссиқликнинг берилиши

Исиган ва совуқ газлар (суюқликлар) зичликларининг хар ҳиллиги ҳисобига бўладиган иссиқлик алмашилиш **суюқликларнинг эркин ҳаракатидаги иссиқлик берилиши** дейилади.

Бундай табиий конвекция усулида хоналарнинг исиши, идишдаги сув ёки суюқликларнинг исиши, совутгичдаги маҳсулотларнинг совуши, атмосфера ҳавосининг совуши (исиши) ва х.к. содир бўлади. 5-шаклда исиган девор (печъ) билан хона ҳавоси орасида иссиқлик берилишидаги жараён ифодаланган бўлиб, α нинг ўзгариб бориш графиги билан кўрсатилган.



5-шакл.

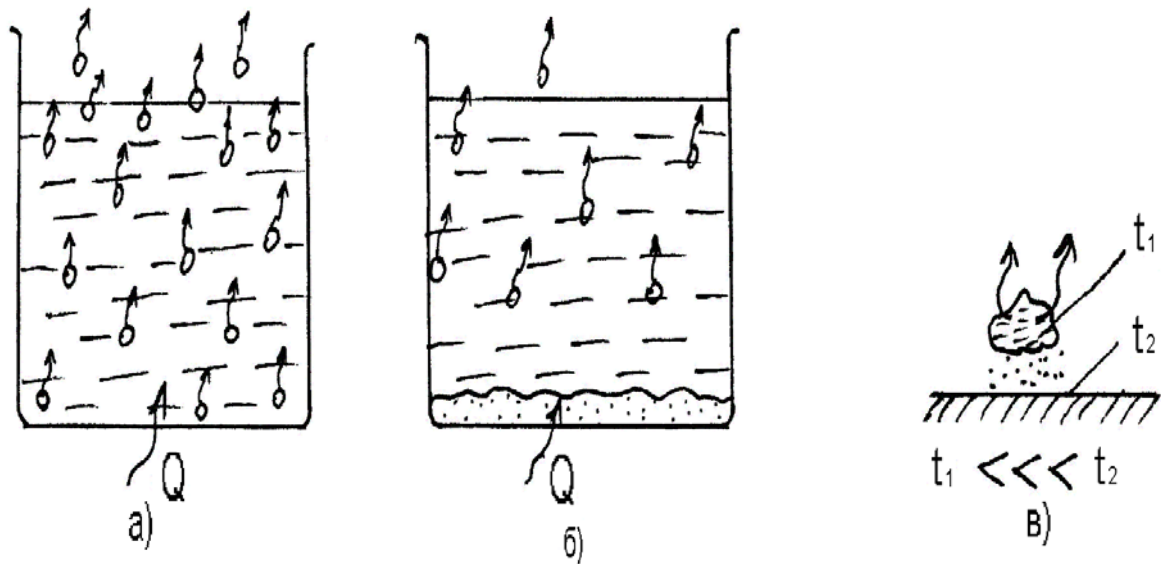
3.Суюқликнинг қайнаши (буғга айланиши) ва суюқликка айланиши (конденсация) да иссиқликнинг берилиши

Қайнаш жараёнида идиш деворига тегиб турган суюқлик қатламининг харорати тўйинган буғ хароратидан юқорироқ бўлади. Бундай хароратлар фарқини **хароратлар босими** деб юритилади.

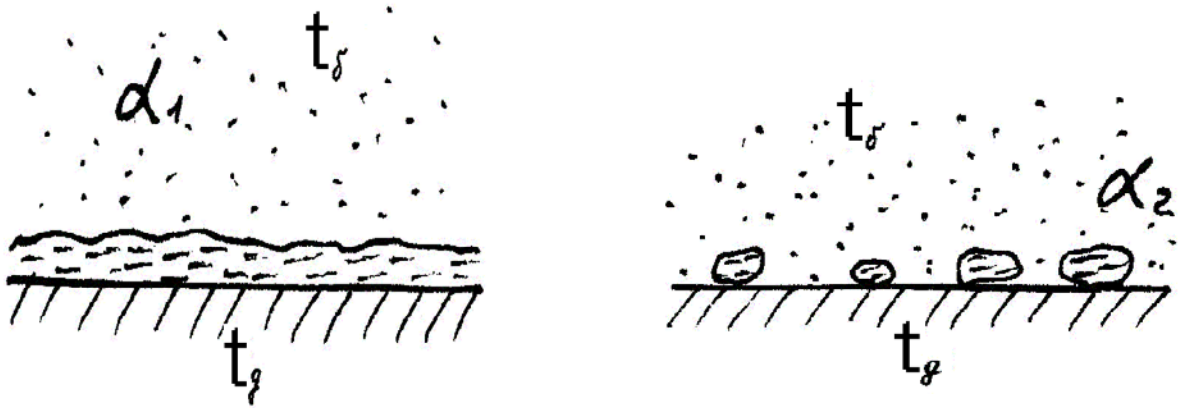
Харорат босимининг ортиб бориши билан қайнаш жараёни кучайиб, жуда кўп миқдорда буғ пуфакчалари ҳосил бўлади ва **пуфакчали буғланиш** дейилади (6^а-шакл).

Харорат босимининг янада ортиб бориши натижасида буғ пуфакчалари бир-бирига қўшилишиб, юпқа қатлам (плёнка) ҳосил қилади, буни **плёнкали буғланиш** дейилади (6^б-шакл).

6^б-шаклда хароратлар босими жуда катта бўлганда суюқлик ва идиш девори тасвирланган. Масалан, қизиган қозонга, дазмолга ёки печга сув томса, оний буғ плёнкаси ҳосил бўлади ва сув томчисини отиб (сачратиб) юборади. Буғнинг суюқликка айланиши (конденсациядаги) иссиқлик берилиши конденсацияланиш турига боғлиқ бўлади. Конденсацияланиш плёнкасимон ва томчисимон бўлиши мумкин.



6- шакл.



7-шакл.

Маълумки, буғ тегиб турган идиш деворининг харорати (t_g) буғ харорати (t_δ) дан анча паст бўлганда конденсация содир бўлади, яъни $t_\delta > t_g$. Сув буғининг конденсацияланиши кўпинча плёнкасимон бўлади, томчисимон конденсация бўлиши учун идиш девори мойланган бўлиши керак.

4. Иссиқлик нурланишининг хусусиятлари

Иссиқлик узатилишининг бу турида иссиқлик энергияси жисмлар бирига тегмаган ҳолда ҳам амалга ошаверади, яъни физика курсидан маълум бўлган инфрақизил (иссиқлик) нури масафага узатилиши мумкин.

Жисмга тушаётган нур (иссиқлик) энергияси қисман жисмдан қайтади, қисман ютилади ва қисман жисм орқали ўтиб кетади.

Демак, жисмга тушаётган иссиқлик нури - Q_H 3та ташкил этувчига бўлиниши мумкин.

$$Q_H = Q_{\text{ю}} + Q_k + Q_{\text{ў}} \quad (18)$$

ёки

$$l = \text{ю} + \text{к} + \text{у} \quad (19)$$

3. Иссиқлик нурланишининг асосий қонунлари

Иссиқлик нурланиши ходисасида 4 та асосий қонунлар мавжуд.

1) **Планк қонуни**, жисм нурланиш энергиясининг (E_0) хар ҳил харорат ва тўлқин узунликларига қараб тақсимланиш қонуниятини ифодалайди.

Абсолют (мутлоқ) қора жисмнинг нурланиш хусусияти (E_0), тўлқин узунлиги $\lambda = 0$ бўлганда $E_0 = 0$ бўлади. Тўлқин узунлигининг ортиб бориши билан E_0 ортиб боради ва хар бир харорат учун энг катта қийматга $\lambda_{\max}$ эга бўлади. Кейинчалик камайиб бориб, $\lambda = \infty$ да E_0 яна нолга тенг бўлади.

Барча тўлқин узунликларидаги нурланиш энергиясининг миқдори:

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{0\lambda} d\lambda \quad (20)$$

2) **Стефан-Больцман қонуни**, абсолют қора жисм нурланишининг унинг хароратига боғланишини белгилайди.

Стефан ва Больцманлар бу боғланишни қуйидаги математик шаклда асослайдилар.

$$E_0 = 5,7 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 \quad (21)$$

яъни, абсолют қора нурланиш энергияси термодинамик хароратининг тўртинчи даражасига пропорционалдир.

(185) формулани ҳисоблашга осонлаштириш учун соддалаштирамиз, яъни абсолют қора жисмнинг нурланиш коэффициенти C_0 ни киритамиз.

$$C_0 = 5,7 \cdot 10^{-8} = 5,7 \text{ [Вт / м}^2 \text{ } ^\circ\text{К]}$$

У ҳолда
$$E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (22)$$

Абсолют қора бўлмаган (ихтиёрий) жисм учун нурланиш энергияси

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (23) \quad \text{ёки} \quad E = 5,7 \cdot \varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (24)$$

бу ерда, $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$ — ихтиёрий, яъни абсолют қора эмас жисмнинг қоралик даражаси.

3) **Кирхгоф қонуни**, жисмнинг нурланиш ва ютиш қобилиятлари орасидаги боғланишни ифодалайди. Кирхгофнинг хизмати шуки, жисмларда E ва $Ю$ хар хил бўлишига қарамай, уларнинг нисбатлари бир хил - фақат хароратга боғлиқлигини аниқлади.

$$\frac{E_1}{Ю_1} = \frac{E}{Ю_2} = \frac{E}{Ю} = \dots = \frac{E_0}{Ю_0}$$

Абсолют қора жисм учун $C_0 = 5,7$ ва $Ю_0 = 1$ бўлганлиги учун (23) тенгликни ва $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$ ни ҳисобга олиб ёзиш мумкин:

$$C = C_0 \cdot Ю = 5,7 \cdot Ю \quad (25)$$

Яъни жисмнинг қоралик даражаси ютиш қобилиятига сон жихатидан тенг ёки жисмнинг ютиш қобилияти нурланиш қобилияти кабидир.

4) **Ламберт қонуни**, нурланиш энергиясининг миқдорини унинг йўналишига боғлиқлигини ифодалайди.

$$E_{\psi} = E_H \cdot \cos \psi \quad (26)$$

Маълум бурчак йўналишидаги жисмнинг нурланиш қобилияти E_{ψ} нур тушаётган сиртга нормал юза билан нур орасидаги бурчакка боғлиқ.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Суюқликни эркин ҳаракатидаги иссиқлик алмашилиш деганда нимани тушунаси?
2. Буғланиш жараёнидаги иссиқлик алмашилиш ходисасини тушунтиринг.
3. Конденсацияда иссиқлик алмашилиши ҳақида маълумот беринг?
4. Иссиқлик нурланиши тушунчаси.
5. Иссиқлик нурланишининг асосий қонунлари.
6. Планк ва Стефан-Болцман қонунлари.
7. Крихгоф ва Ламберт қонунлари.

Маъруза №15. – 2 соат

Мавзу: Иссиқликнинг узатилиши ва иссиқлик алмаштириш асбобларини ҳисоблаш.

Мақсад: Иссиқлик узатилиши ва иссиқлик алмаштириш асбобларни ўрганиш. Иссиқликни турли сиртлардан ўтишини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Мураккаб иссиқлик алмашиш.
2. Ясси сиртлар орқали иссиқликнинг узатилиши.
3. Цилиндрик сиртлар орқали иссиқликнинг узатилиши.
4. Иссиқлик узатиш асбобларини ҳисоблаш.

1. Мураккаб иссиқлик алмашиш

Юқоридаги бобларда кўриб чиққанимиздек иссиқлик бир жисмдан иккинчи жисмга ҳар қил усулда берилиши мумкин. Ҳаётда, табиатда, техникада иссиқлик узатилиш ходисалари соф ҳолатда бирорта усул билан эмас, балки бир неча усул бараварига, яъни аралаш ҳолатда содир бўлади. **Бундай иссиқлик алмашилишни - мураккаб иссиқлик алмашилиш дейилади.**

Масалан, печь девори билан ҳаво орасидаги иссиқлик алмашилишда асосий ходиса - конвекция бўлиб ҳисобланади, лекин иссиқлик нурланиши ходисаси билан бирга содир бўлади.

Бунда иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_H$ бўлиб, девор сиртининг юза бирлигидан газ қабул қилаётган иссиқлик миқдори қуйидагича бўлади.

$$q_0 = q_k + q_H = (\alpha_k + \alpha_H)(T_g - T_x) \quad (27)$$

Бу ерда, q_k - конвектив иссиқлик берилиш миқдори;
 q_g - иссиқлик нурланиши иссиқлик миқдори;

T_g - печь деворининг харорати;

T_x - ҳаво (газ) нинг харорати.

Агар девор юпқа суюқлик (плёнка) билан қопланган бўлса (хўл бўлса) $\alpha_H = 0$ бўлиб, $\alpha_0 = \alpha_T$ бўлади.

2.Ясси сиртлар орқали иссиқликнинг узатилиши

8-шаклда ифодаланган ҳолатда деворнинг чап томонида доимий T_1 хароратли муҳит, ўнг томонида эса доимий (ўзгармас) T_2 хароратли муҳитга тегиб турибди.

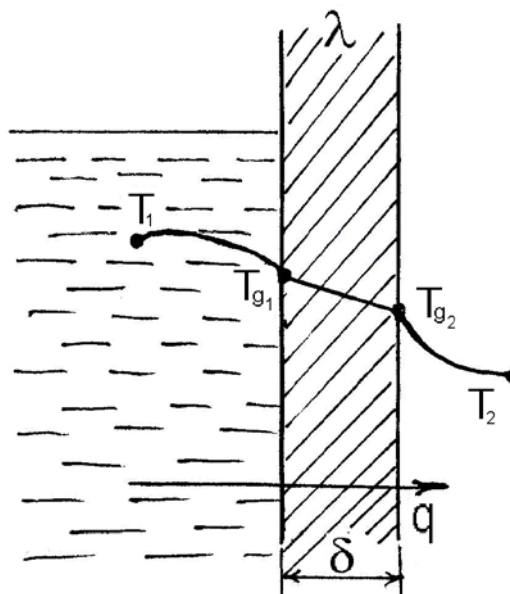
Схемадан кўришиб турибдики $T_1 > T_2$ бўлса, деворнинг хар бир m^2 юзаси орқали узатилаётган (нисбий) иссиқлик оқими q бўлади.

Суюқлик муҳитдан деворнинг ички (чап) сиртига берилаётган иссиқлик микдори:

$$q = \alpha_1(t_1 - t_2) \frac{6m}{M^2}$$

ёки

$$t_1 - t_2 = q \frac{1}{\alpha_1} \quad (28)$$



8-шакл

Тўсиқ (девор)орқали ўтаётган иссиқлик микдори:

$$q = \lambda \frac{t_g - t_{g2}}{\delta} \frac{6m}{M^2} \quad \text{ёки} \quad t_{g2} - t_{g1} = q \frac{\delta}{\lambda} \quad (29)$$

Деворнинг чап (ташқи) сиртидан иккинчи муҳити (газ) га берилаётган иссиқлик микдори:

$$q = \alpha_2(t_{g2} - t_2) \frac{6m}{M^2} \quad \text{ёки} \quad t_{g2} - t_2 = q \frac{1}{\alpha_2} \quad (30)$$

Шаклда ифодаланган иссиқлик ходисасида хароратлар ўзгармаса, узатилаётган иссиқлик оқими (q) ўзгармас бўлади. Шунинг учун (192) (193) ва (194) тенгликларни ўнг ва чап томонларини қўшиб иссиқлик оқимининг тенглигини ҳосил қиламиз:

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_1 - t_2), \quad \frac{6m}{M^2} \quad (31)$$

Тенгликдаги биринчи ифода иссиқлик узатилишининг барча коэффицентларини ифодалайди ва **иссиқлик узатилиш коэффиценти** дейилади.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{6m}{M^2} \quad (32)$$

Бунга тескари бўлган қийматни **иссиқлик узатилишининг термик қаршилиги** дейилади.

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

(32) тенгликни ҳисобга олсак (195) тенглик соддалашади.

$$q = k(t_1 - t_2), \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (33)$$

Маълум вақт (τ) давомида маълум юза (F) дан ўтган иссиқлик миқдори

$$Q = F \cdot \tau \cdot k (t_1 - t_2), \text{ Ж} \quad (34)$$

Агар тўсиқ (девор) бир неча қатлам бўлса (197) даги K нинг ифодаси ўзгаради,

$$\text{яъни } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (35)$$

3. Цилиндрик сиртлар орқали иссиқликнинг узатилиши

Узунлиги L ички диаметри d_1 ташқи диаметри d_2 бўлган бир қаватли труба (кувур) ичида t_1 хароратли, ташкарида эса t_2 хароратли суюқлик оқмоқда.

Суюқликларнинг оқими ва хароратлари вақт давомида ўзгаришсиз бўлса кувурнинг нисбий узунлиги L бўйлаб ўтаётган иссиқлик миқдори ҳам вақт бўйича ўзгармас бўлади.

Иссиқроқ (T_1) суюқликдаги кувурнинг ички деворига берилаётган иссиқлик

$$\frac{Q}{\ell} = q_e = \alpha_1 \cdot \pi \cdot d_1 (t_1 - t_{g1}) \frac{\text{Вт}}{\text{м}} \quad (36) \quad \text{ёки} \quad t_1 - t_{g1} = q_e \frac{1}{\alpha_1 \pi \cdot d_1}$$

Девор орқали ўтаётган иссиқлик миқдори:

$$q_e = \frac{2\pi\lambda(t_{g1} - t_{g2})}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (37) \quad \text{ёки} \quad t_{g1} - t_{g2} = \frac{q_e}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

Кувурнинг ташқи деворидан ташқи муҳитга берилаётган иссиқлик:

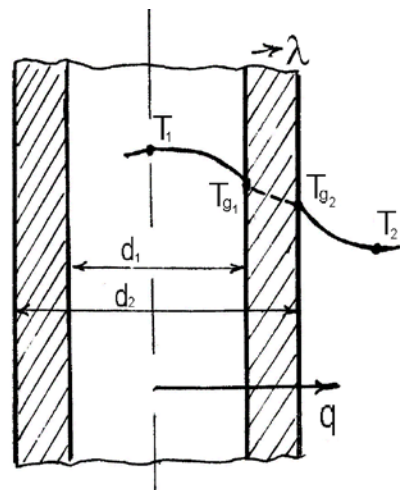
$$q_e = \alpha_2 \cdot \pi \cdot d_2 (t_{g2} - t_2) \quad (38)$$

ёки

$$t_{g2} - t_2 = q_e \left(\frac{1}{\alpha_2 \pi d_2} \right)$$

(36), (37) ва (38) тенгликларни ўзаро қўшиб ҳосил қиламиз:

$$q_e = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} = \pi \cdot k_1 (t_1 - t_2) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (39)$$



9-шакл

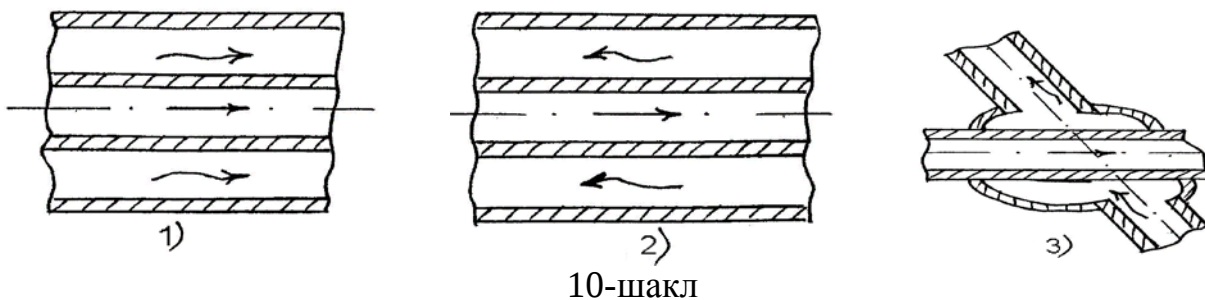
Агар қувурнинг ичига сув қуйқаси ўтирган, ташқариси эса бўялган бўлиб, иссиқлик бир неча (n) қават орқали ўтаётган бўлса:

$$q_e = \frac{\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda e} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_{n+1}}} \left[\frac{em}{m^2} \right] \quad (40)$$

4. Иссиқлик узатиш асбобларини ҳисоблаш

Турмушда ва техникада битта муҳитдан иккинчи муҳитга иссиқликни узатиш учун мўлжалланган қурилмаларни **иссиқлик узатиш асбоблари ёки иссиқлик алмаштиргичлар** дейилади. Масалан, хоналардаги иситиш асбоблари, холодильник ва кондиционерлар, радиаторлар, сув - буғ ўтхоналари ва бошқалар.

Иссиқлик алмашиниш асбобларининг девори орқасидаги суюқлик (газ)нинг ҳаракат йўналишга қараб; а) тўғри оқимли, б) қарама-қарши оқимли ва в) айқаш (қесишадиган) оқимли иссиқлик алмаштиргичлар мавжуд бўлади.



Иссиқлик алмаштиргичларни ҳисоблашдан мақсад иситувчи ва исувчи жисм (муҳит)ларнинг ҳароратлари маълум бўлса, мослама (асбоб)нинг юзасини аниқлаш ёки аксинча юза маълум бўлса иссиқлик ташувчи жисмнинг ёки исувчи жисмнинг кейинги ҳароратини аниқлаш бўлади.

Ҳисоблашлардаги асосий тенгламалар:

1) иссиқлик алмашиниш тенгламаси.

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau \quad (27) \quad (41)$$

бу ерда, Δt - исувчи ва иситувчи (иссиқлик ташувчи) жисмларнинг ҳароратлари орасидаги ўртача ҳарорат босими (фарқи).

2) иссиқлик алмаштиргичнинг иссиқлик баланси тенгламаси.

$$Q = W_1(t'_1 - t''_1) = W_2(t''_2 - t'_2) \quad (42)$$

бу ерда, W_1 ва W_2 – иссиқлик ташувчи жисмларнинг сув эквивалентлари бўлиб, сон миқдори ноъмалум (текширилаётган) суюқликнинг иссиқлик сиғими бўйича соатига қанча сувга эквивалентлигига тенг.

Сув эквивалентини аниқлаш қуйидагича амалга оширилади.

$$W = w \cdot \rho \cdot f \cdot C_p \quad (43)$$

бу ерда, W - иссиқлик ташувчи (жисм) нинг тезлиги, м/соат;

f - оқимнинг қўндаланг кесими, m^2 ;

ρ - суюқлик (газ) нинг зичлиги, kg/m^3 ;

C_p - масса бўйича (суюқликнинг) изобарик иссиқлик сиғими, $J/kg \cdot ^\circ K$.

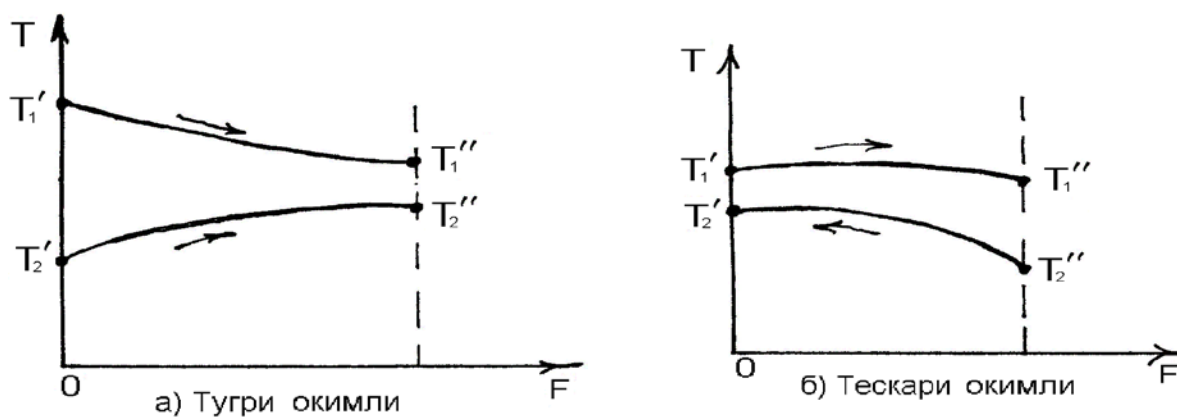
(42) тенгликдаги 1 ва 2 индекслари мос равишда иситувчи ва исувчи суюқликларга тегишли, хароратлардаги штрихлар эса суюқликларнинг кириш ва чиқиш жойларидаги хароратларни билдиради.

(42) тенгламани сув эквивалентларига нисбатан ечсак, қуйидаги нисбатларни ҳосил қиламиз.

$$\frac{W_2}{W_1} = \frac{T_1' - T_1''}{T_2' - T_2''} \quad (44)$$

Охирги тенгликлардан кўриниб турибдики, иситувчи жисмнинг сув эквиваленти қанча катта бўлса иссиқлик алмашилиш жараёнида унинг харорати шунча кам ўзгаради.

Қуйидаги шаклда тўғри ва тескари оқимли иссиқлик алмаштиргичларда хароратнинг қувур узунлиги бўйлаб ўзгариши ифодаланган.



11-шакл

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Иссиқлик алмашилиш турларини айтинг?
2. Муракаб иссиқлик алмашилиши ҳақида маълумот беринг?
3. Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни.
4. Ясси сиртларда иссиқлик ўтказувчанликни изоҳланг?
5. Цилиндрик сиртларда иссиқлик ўтказувчанликни тушунтиринг?

Маъруза №16. – 2 соат

Мавзу: Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариш қурилмаларининг иссиқлик физикаси.

Мақсад: Қишлоқ хўжалик биноларининг иссиқлик режими, девор конструкциялари, фермахоналардаги иссиқлик ҳолати, ёпиқхоналардаги намлик, қ/х биноларидаги ҳаво режими ва иссиқлик тўсиқларини ўрганиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Қишлоқ хўжалиги биноларининг иссиқлик режими ва девор (тўсиқ) конструкцияларининг иссиқлик физик тавсифлари.

2. Фермахоналар таги (поли) нинг иссиқлик ҳолати ва иссиқлик турғунлиги.
3. Ёпиқхоналардаги намлик.
4. Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариш биноларида ҳаво режими ва табиий ҳаво алмашилиши.
5. Иссиқ ҳаволик тўсиқлар.

1. Қишлоқ хўжалиги биноларининг иссиқлик режими ва девор (тўсиқ) конструкцияларининг иссиқлик физик тавсифлари

Бинодаги иссиқлик ҳолатини сақланишига (ўзгаришига) таъсир қилувчи омиллар йиғиндисини - **бинонинг иссиқлик режими** дейилади.

Бинонинг атроф (девор) тўсиқлари ва томи атмосферанинг бевосита таъсирдан ҳимоя қилиб туради. Шу тўсиқлар туфайли қишда иссиқликнинг йўқолишидан ва ёзда ўта исиб кетишидан сақланади. Девор тўсиқлари, агар ташқи девор бўлмаса, қўшни хона билан харорат бир хил бўлса, тўсиқлар иссиқлик бўйича нейтрал бўлади.

Фермалардаги ҳайвон ва паррандалар ҳаётида, иссиқ хоналардаги ўсимликларда ҳамда мева ва сабзавотларни сақлаш омборларида бинолардаги ҳавога иссиқлик, намлик ва зарарли газлар қўшилиши мумкин. Ҳайвонларнинг тагини қуритиш учун сепилган хашак, арра тўпони ва бошқалар, парранда ва ҳайвон гўнгларидаги биокимёвий жараёнлар хонадаги ҳавонинг намлиги, тозаллиги ҳамда иссиқлик ҳолатига таъсир қилади. Иссиқлик ҳайвонлардан деворларга қараб нурланиш ва конвекция орқали узатилиши мумкин. Шу икки хил усулда иссиқлик узатилиши ёпиқ иссиқхона (теплица) ларга ҳам тегишли. Хоналардаги ҳаво узлуксиз ҳаракатда бўлади. Ҳаво ҳаракати табиий (эркин) ёки мажбурий (вентиляция орқали) бўлиши мумкин.

Девор орқали иссиқликнинг узатилиши иссиқлик ўтказувчанлик усулида содир бўлади. Йил фасллари, сутканинг вақти ва об-ҳаво шароитига қараб хонадаги ҳаво харорати ўзгариб туради.

Девор тўсиқ сиртидан чиқаётган иссиқлик баланси қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$Y_1 + K_1 + H_1 = 0 \quad (45)$$

бу ерда, Y_1 - 1-нчи девор иссиқлик ўтказувчанлиги;

K_1 - 1-нчи девор конвектив иссиқлик узатиши;

H_1 - 1-нчи девор иссиқлик нурланиши.

Бу тенглама девор (тўсиқ) билан ажратилган бинодаги иссиқлик режимини ифодалайди.

Хонанинг девор ва томлари маълум талабларга жавоб бера оладиган мате-риаллардан тайёрланади. Бу талабларнинг асосийси - иссиқликни камроқ ўтказиш хисобланади. Бундан ташқари, қурилиш материали мустаҳкам, арзон, ўтга чидамли ва бошқа талабларга жавоб бериши керак.

Иссиқлик ўтишини тўсувчи (изоляция) моддаларда λ коэффиценти 25°C да $0,175 \text{ Вт/м.к}$ дан, зичлиги $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ дан ортмаслиги керак. Бу моддалар келиб чиқиши бўйича 2 хил турга бўлинади:

1) **Ноорганик материаллар** (моддалар): асбест, шлак, перлит ва бошқа ноорганиклар.

2) **Органик материаллар:** толали ёғочлар, пўкаксимонлар, кўпиксимон (пенопласт) лар.

Иссиқликни тўсувчи моддалар зичлик (ρ) лари бўйича 4 гуруҳга бўлинади:

- 1) Зичлиги жуда кам (ЗЖК)-25, 35, 50, 75 кг/м³
- 2) Зичлиги кам (ЗК) - 100, 125, 150, 175 кг/м³
- 3) Зичлиги ўртача (Зўр)- 200, 225, 250, 300, 350 кг/м³
- 4) Зич (Зч) - 400, 450, 500, 600 кг/м³

Иссиқликни тўсувчи (иссиқлик изоляция) моддалар λ коэффиценти бўйича 3 та гуруҳга бўлинади:

А - Иссиқлик ўтказувчанлиги кам : $\lambda = 0,06$ Вт /м.к гача

Б - Иссиқлик ўтказувчанлиги ўрта: $\lambda = 0,06...0,115$

В - Иссиқлик ўтказувчанлиги юқори: $\lambda = 0,115$ Вт/м.к дан юқори.

Иссиқликни кам ўтказувчан (изоляцияцион) қурилиш материаллари - мураккаб капилляр - ғовакли моддалар бўлиб, кейинги пайтларда янги-янги турлари пайдо бўлмоқда. Модда ғоваклари ҳаво ва намлик жойлашиб олган бўлганлиги учун атмосфера ҳавосининг ўзгариши билан бундай материалларнинг физик хусусиятлари ҳам ўзгариб туради.

Ноорганик моддалар (минерал пахта, базальт тола, шиша пахта, асбест, кум ва чағиртошлар) ва органик моддалар (толали-ёғоч плиталар, қамиш ва сомонли плиталар, торф, пўкак қириндили плиталар) қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида кенг қўлланилмоқда.

Шундай қилиб, иссиқликни тўсувчи (изоляцияцион) қурилиш материалларининг асосий иссиқлик-физик кўрсаткичлари: солиштирама иссиқлик сиғими (С), иссиқлик ўтказувчанлиги (λ), зичлиги (ρ) ҳамда намлик ва ҳаво ўтказувчанлиги бўлиб ҳисобланади.

Иссиқхонадалардаги тупроқнинг иссиқлик-физик хусусиятлари ҳам кўп ҳил омилларга боғлиқ (тупроқ тури ва структурасига, механик таркибига, ғоваклиги ва зичлигига, намлигига ва об-ҳаво таъсирларига) бўлади.

2. Фермахоналар таги (поли) нинг иссиқлик ҳолати ва иссиқлик турғунлиги

Полнинг харорати унга тегиб турган ҳаво хароратига тахминан тенг ёки камроқ бўлади. Бу эса, полда ётган хайвон хароратидан анча паст. Кузатишларга қараганда, суткадаги вақтнинг чучкалар-70...90% ни, моллар-50 % ни ётиб ўтказар экан. Хайвонлардан полга ўтаётган иссиқликнинг йўқолиши, хайвон маҳсулдорлигини камайишига ва уларнинг шамоллаб қолиши каби салбий оқибатларга олиб келади.

Фермаларда куйидаги турлардаги тагликлар қўлланилади:

- 1) бетон, асфальт, ғишт, ёғочдан қилинган тешиксиз таглик (пол) лар;
- 2) темир бетон, чўян, пўлат ёки ёғочлардан тайёрланадиган тирқишли (панжарали). Маълумки, тешик - тирқишли тагликларнинг қўлланилиши, хайвон чиқиндиларини тозалашни енгиллаштиради.

Тагликнинг иссиқлик-физик хусусиятларидан бири бўлиб, таглик ва унда ётган хайвон хароратларининг тенглашуви учун кетган вақт ҳисобланади. Бу вақт давомида хайвон совқатиш сезади.

Ферма таглигининг иссиқлик-физик хусусиятини тагликнинг **иссиқлик фаоллиги кўрсаткичи** (B_0) белгилайди.

$$B_0 = \sqrt{\lambda \cdot C \cdot \rho} \quad \text{кж / м}^2 \cdot \text{Ст}^{0,5} \cdot \text{К} \quad (46)$$

бу ерда, λ - иссиқлик ўтказувчанлик;

C - солиштира иссиқлик сифими;

ρ - зичлик;

C - соатнинг 0,5 нчи даражаси.

Масалан, молхоналар учун кўрсаткич тахминан $B_0 = 55 \text{ кж/м}^2 \cdot \text{Ст}^{0,5} \cdot \text{К}$ га тенг бўлади.

Фермахона ичидаги ҳаво харорати ташқаридаги харорат ўзгаришига нисбатан, иложи борица ўзгармас (турғун) бўлиши керак.

Хона деворлари орқали иссиқликнинг йўқотилиши ёки иссиқлик кириши ҳисобига хона хароратининг турғунлиги ўзгариши мумкин.

Хонадаги ҳавонинг иссиқлик турғунлигини ифодаловчи кўрсаткичлардан асосийси девор материали қатламининг **солиштира иссиқлик қабул қилиш коэффиценти** S бўлиб ҳисобланади.

$$S = \sqrt{\frac{2\pi \cdot c \cdot \rho \cdot \lambda}{D_B}} \quad \frac{Bm}{\text{м}^2 \cdot K} \quad (47)$$

бу ерда, D_B - хароратнинг тебраниш даври.

(3) тенгликдаги S коэффицентнинг физик маъноси: **девор ички ва ташқи хароратлари фарқи 1°C бўлганда хар бир м^2 девор сиртидан 1 соатда йўқотилаётган (ёки қўшилаётган) энергия микдорининг Вт лардаги ифодаси.**

Девор n - нчи қатлами термик қаршилиги R_n нинг солиштира иссиқлик қабул қилиш коэффиценти (S_n) га кўпайтмаси - девор (тўсиқ) нинг **шартли қалинлиги** (D) деб юритилиб, ўлчов бирлигисиз коэффицентдир.

$$D_n = R_n \cdot S_n \quad (48)$$

бу ерда, $R \left[\frac{\text{м}^2 \cdot K}{Bm} \right]$ - термик қаршилик.

Шартли қалинлик коэффиценти – D девор қалинлигини ифодалайди:

агар, $D < 1$, бўлса - юпқа девор;

$D > 1$, бўлса - қалин девор деб ҳисобланади.

3. Ёпиқхоналардаги намлик

Намлик ҳосил бўлишининг манбалари: фермаларда - хайвонлар, очик сиртли суюқликлар ва сувларнинг, сабзавот ва мева омборларида - барг ва меваларнинг буғланиши, иссиқхоналарда эса - ўсимлик ва тупроқларнинг буғланиши бўлиб ҳисобланади.

Юқоридаги сабабларга кўра, хонадаги ҳаво намлиги ташқаридагига қараганда анча намроқ бўлади. Шу сабабли намлик тўсиқ (девор) лар орқали ташқарига интилганлиги учун деворларнинг намлигини орттиради. Ички ва ташқи харорат фарқи катта бўлганда (қишда), нисбий намлик юқори бўлиб, девор сиртларида майда томчилар ҳосил бўлиши мумкин.

Юқори нисбий намлик хайвонларда ҳар ҳил касалликлар келтириб чиқариши мумкин ҳамда деворлар орқали иссиқлик йўқолишини орттиради.

Иссиқликнинг ўтиш потенциали, бу ҳароратдир. Масса алмашилишида нам моддаларда намлик ўтиши потенциали тушунчасидан фойдаланилади. Иссиқликнинг бир жисмдан иккинчи жисмга ўтишида бу потенциал (θ) шу ролни бажаради.

Девор (тўсиқ) нинг ўртача намлик ўтиши потенциали ($\theta_{ур}$) деб, ташқи ва ички ҳаво намлик потенциалларининг ўртачаси олинади:

$$\theta = \frac{\theta_{ич} + \theta_{тш}}{2} \quad (49)$$

Газларда нисбий иссиқлик сиғими тушунчасига ўхшатма қилиб “**нисбий намлик сиғими**” тушунчаси киритилган.

$$C_m = \frac{du}{d\theta} \left[\frac{\kappa \varepsilon}{\kappa \varepsilon \cdot 0_M} \right] \quad (50)$$

бу ерда, du - ҳаво таркибидаги намлик миқдорининг хусусий ҳосиласи;

$d\theta$ - намлик ўтиши потенциали ҳосиласининг ўзгармас ҳарорат (изотерма)

даги ифодаси.

Нисбий намлик сиғими (C_m) ни топиш учун қуйидаги ифодадан фойдаланиш мумкин:

$$C_m = \frac{u - b}{\theta} \left[\frac{\kappa \varepsilon}{\kappa \varepsilon \cdot 0_M} \right] \quad (51)$$

бу ерда, b - жисм (газ) ларнинг физик тавсифларига боғлиқ бўлган ўзгармас сон.

U - намлик миқдори

θ - намлик ўтиши потенциали.

4. Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариш биноларида ҳаво режими ва табиий ҳаво алмашилиш

Бинодаги ҳаво режими дейилганда - бинодаги ҳавонинг ташқаридаги ҳаво билан узлуксиз аралшиб (алмашилиб) туриш жараёни тушунилади.

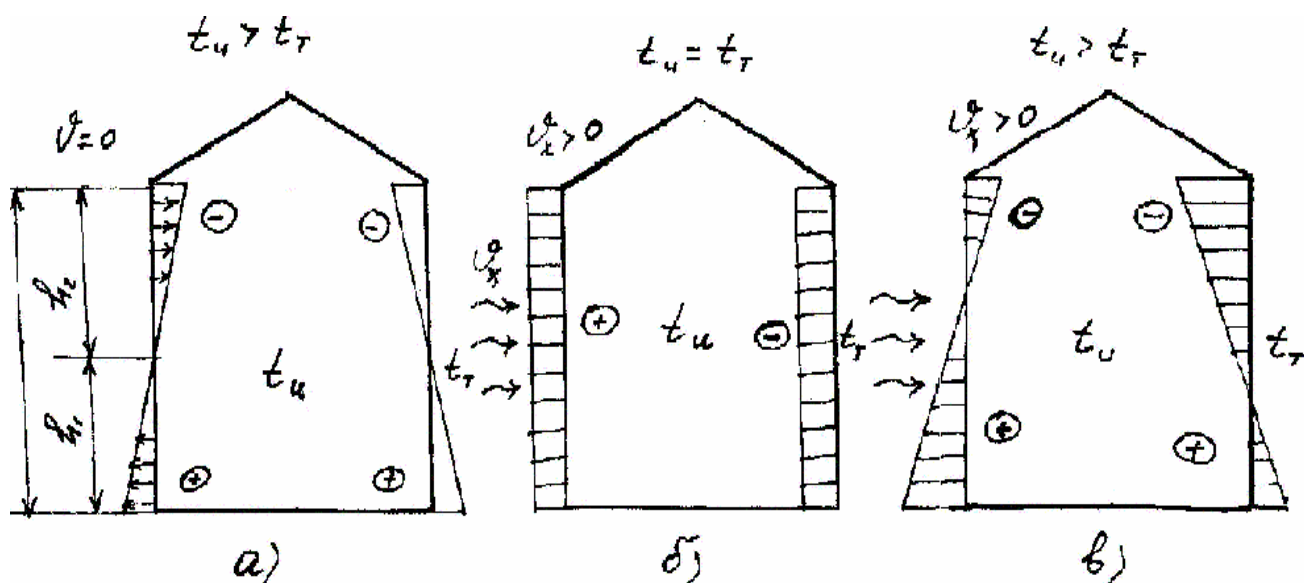
Хона ҳавоси ва ташқи муҳит ҳароратлари бир ҳил бўлмаганлиги туфайли хона ҳавосининг ҳарорати ўзгарувчан бўлади. Бу ўзгарувчанлик сутка вақти бўйича ҳамда бино баландлиги бўйича ҳам бир ҳил эмас. Бинонинг томга яқин баландликларида ҳарорат пастга нисбатан $2...3^0$ га юқорироқ бўлади (иситиладиган поллардан ташқари).

Маълумки, ҳароратлар фарқи ҳавода зичликлар фарқини келтириб чиқаради. Зичликлар фарқи эса ҳаво ҳаракатига сабаб бўлиб, девор тирқишларидан, эшик ва ойна ораликларидан ҳаво кириши ёки чиқиб туришига сабаб бўлади. Бу ҳаво алмашилиш жараёнининг жадаллиги кўп омилларга боғлиқ: табиий шамоллатиш (вентиляция) тизими тузилишига, йил фасллари, сутка вақтига, шамол кучига ва бошқаларга. Ҳавонинг ташқаридан кириб туриши (инфилтрация) ёки чиқиб кетиши (эксфилтрация) ходисалари хона ҳароратининг ўзгаришига олиб келади. Бу эса, ўз навбатида хайвон ёки ўсимликлар ривожига салбий таъсир этади.

Қишлоқ хўжалиги биноларида ишлатиладиган қурилиш материаллари ҳаво ўтказди. Материал (девор) нинг ҳаво ўтказувчанлиги I_x босимлар фарқи 1Па бўлгандаги деворнинг 1м^2 юзасидан 1 соатдан ўтиб кетадиган ҳаво миқдори (кг) га тенг. Бу кўрсаткичга тескари миқдори деворнинг ҳаво ўтказувчанликка қаршилиги (r_x) дейилади, яъни

$$r_x = \frac{1}{I_x} \quad (52)$$

Ташқи ва ичкаридаги ҳаво ҳароратларининг фарқи ҳисобга гравитацион босим ҳосил бўлади. Шунингдек, шамол таъсирида ҳам бинонинг шамол томонида ва тескари томонида босимлар фарқи ҳосил бўлади.



12-шакл

Ҳаво ҳароратларининг фарқи ҳисобига бино ичидаги ортиқча босим ўзгариши (12^а) шаклда, шамол таъсирида бинонинг чап ва ўнг томонларида босимлар фарқи (12^б) шаклда ифодаланган, (12^в) шаклда эса иккала омил таъсирининг йиғиндиси тасвирланган.

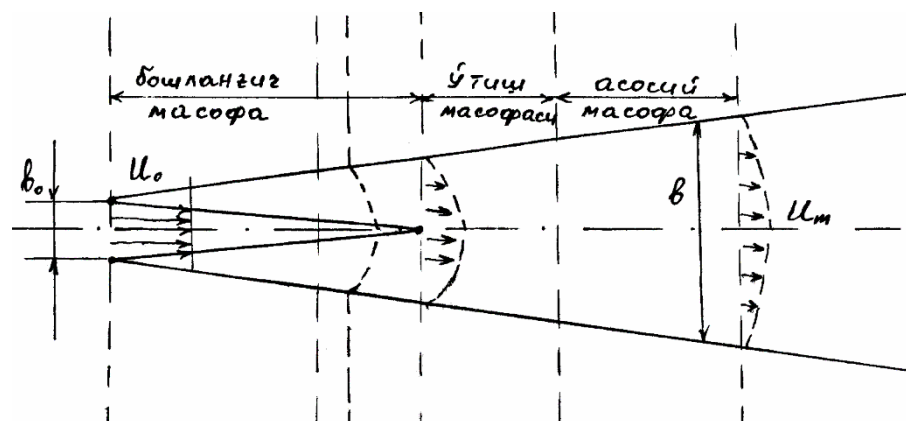
(12^а) шаклдан кўриниб турибдики, хона ҳарорати (t_u), ташқи ҳарорат (t_r) дан иссиқроқ бўлганда бинонинг қуйи (h_1) қисмида зичлик ва демак, гравитацион ортиқча босим юқориқроқ бўлади.

(12^б) шаклга қараб шамол йўналиши (ϑ_x) томонида ҳаво босимининг бироз юқориқроқ эканлигини кўриш мумкин.

Иккала омилнинг тенг таъсири эса, (12^в) шаклда берилган. Бу омиллар таъсиридаги ҳаво алмашилиш жараёнини - **бино аэрацияси** дейилади.

Бинонинг вентиляция тешигининг диаметри - v_0 орқали босимлар (ички ва ташқи) ташқи фарқи ҳисобига ҳаво оқими бошланғич тезлик (u_0) билан кириб конуссимон шаклда ҳаво оқими кенгайиб боради. Бунда ҳаво оқими тезлиги (u) аввал кескин, кейинчалик мўътадил ҳолатга кенгайиб боради. Оқимнинг асосий масофасида эса ҳаво оқимининг тезлиги u_m ўртачага эришиб, тезликнинг ўзгариши камаяди.

Бинодаги ҳаво оқимлари



13- шакл

Инженерлик ҳисоб-китобларида, масофа катта бўлмаганлиги туфайли, ўтиш масофасини ҳисобга олмаслик ҳам мумкин.

Маълумки, суюқлик ва газлар турбулент ва ламинар оқади. Бино ичидаги ҳаво оқими ҳам ушбу қонунга бўйсунди.

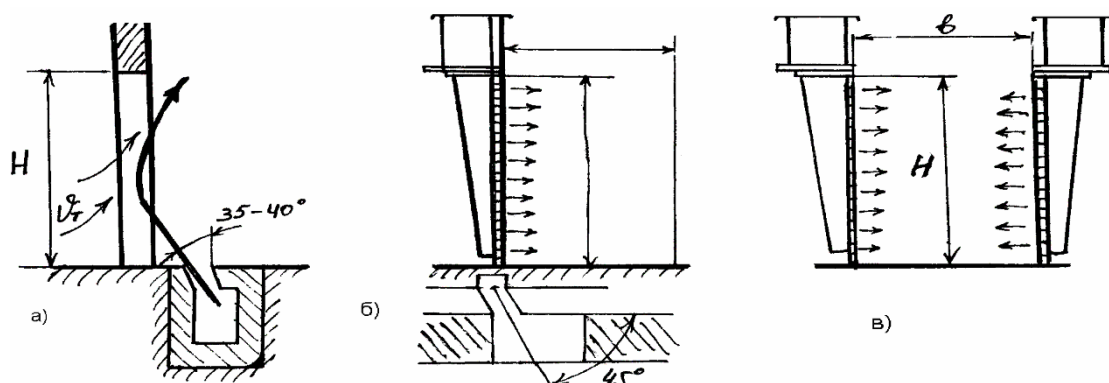
5. Иссиқ ҳаволик тўсиқлар

Қишлоқ хўжалиги биноларидаги эшиклар очилган пайтда совуқ ҳаво кириб, эшик олдидаги хайвонларга (ўсимликларга) таъсир этмаслигини ва умуман хонанинг ҳароратини пастлаб кетишини олдини олиш керак. Бунинг учун шаҳарлардаги идора, ишлаб чиқариш бинолари, метро ва бошқа жойлардаги каби эшик олдида иссиқ ҳаво пуфлагич мосламалари ўрнатиш керак.

Бино эшиклари олдидаги пуфланадиган иссиқ ҳаво бинонинг юқори қисмидан олинади ва колориферларда қиздирилиб, вениляторлар билан эшик ташқарисига қараб пуфланади. Ҳаво оқимининг отилиб чиқиши дастлабки тезлиги 12...16 м/сек.

Ҳавонинг эшик олдидан ташқарига қараб пуфланиши, яъни сунъий иссиқ шамол ҳосил қилиш уч хил усулда бўлиши мумкин:

- 1) ҳаво оқимини пастдан йўналтириш (14^a шакл);
- 2) ҳаво оқимини эшик ёнидан йўналтириш (14^b шакл);
- 3) ҳаво оқимини эшикнинг иккала ёнидан йўналтириш (14^b шакл).



14-шакл

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Қ/х биноларининг иссиқлик режими деганда нимани тушунасиш?
2. Девор – тўсиқ конструкциялари иссиқлик таснифини таърифланг?
3. Фермалар (поли)нинг иссиқлик ҳолати ва турғунлиги ҳақида маълумот беринг?
4. Ёпиқхоналардаги намлик ҳақида тушунчангаз?
5. Қ/х биноларининг ҳаво режимини тушунтиринг?
6. Қ/х биноларида табиий ҳаво алмашилиши ҳақида тушунча беринг?

Маъруза №17. – 2 соат

Мавзу: Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида иссиқликдан фойдаланиш.

Мақсад: Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида иссиқликдан фойдаланишни ўрганиш ҳамда қишлоқ хўжалик маҳсулотларини қуритиш, сақлаш ва ташишда иссиқлик ва муздан фойдаланишни ҳақида тушунча олиш.

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Биноларни иситиш.
2. Иссиқ сув билан таъминлаш.
3. Ферма ҳавосини мўътадиллаштириш (кондицирлаш)
4. Ишлаб чиқариш ва маиший хизмат биноларини шамоллатиш.
5. Химояланган тупроқли қурилмаларда иссиқликнинг қўлланилиши.
6. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритиш.
7. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ташишда ва сақлашда совуқ (муз) дан фойдаланиш.

1. Биноларни иситиш

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариш биноларида одамларнинг ишлашига, хайвонлар ва ўсимликларнинг маҳсулдорлигига ижобий таъсир қиладиган мўътадил микроклим бўлиши керак.

Тадқиқотларнинг кўрсатишича, хайвонлар маҳсулдорлигининг 25...25% зотига боғлиқ, 40...45% боқувига, 30...35% эса бинодаги шароитга боғлиқ экан.

Микроклим яратишда асосий омил ҳаво харорати ҳисобланади. Хайвонлар учун ҳам, одамлар учун ҳам маълум **критик харорат (КХ)** мавжуд. Агар ҳаво харорати КХ дан паст бўлса, организм ўз хароратини сақлаб туриш учун қўшимча энергия сарфлаши (ем ейиши) керак. Ҳаво харорати КХ дан юқори бўлиб кетса, организмнинг ташқи муҳит билан конвектив иссиқлик алмашилиши бузилади. Иккала ҳолда ҳам хайвонларнинг маҳсулдорлиги камайтилади, сарф-харажат ортиб кетади.

Демак, биноларнинг мўътадил макроиқлимини яратишда хона хароратини бир меъёрда ушлаб туриш муҳим ўрин тутди. Бунинг учун биноларни иситиш зарур бўлади. Биноларни сув билан, буғ билан, иситувчи панеллар билан, ҳаво билан ва печь билан иситиш тизимлари воситасида иситиш мумкин.

Сув билан иситиш тизими, айланиш усулига қараб, икки хил бўлади: табиий ва мажбурий сув айланиши. Биринчи ҳолда сувнинг айланиши иссиқ ва совуқ сувлардаги зичликларнинг фарқи ҳисобига, яъни гравитацион куч таъсирида содир бўлади. Мажбурий сув айланишида иссиқ сув насос ёрдамида маълум босим остида биноларга хайдалади.

Хонадаги иситиш асбоб (радиатор)ларининг иссиқлик тизимига уланишига қараб, икки қувурли ва бир қувурли бўлиши мумкин.

Иссиқлик билан таъминлаш усулига қараб: якка тартибда, яъни ҳар бир бинога алоҳида буғ (сув) қозони ва марказлаштирилган таъминлаш, яъни маълум ҳудудга битта катта иситиш маркази ёки иссиқлик электр маркази (ИЭМ) орқали иситиш турлари бўлади.

Сувнинг табиий айланиши билан ишлайдиган иситиш тизимлари бир ёки икки қаватли кичик биноларга мўлжалланган бўлади. Булар асосан аҳоли турар жойлари ва кичик фермаларда ҳамда хусусий иссиқхоналарда қўлланилади. Бундай тизимда буғ-сув қозонидан трубалар узоғи билан 30 метргача бўлади. Марказлаштирилган иссиқлик билан таъминлаш тизимида кўп қаватли бинолар, маълум ҳудуд ёки катта ишлаб чиқариш корхоналари иситилади.

Буғ билан иситиш тизимлари босимига қараб 2 хил бўлади. Паст босимли- 0,15...0,17 МПа (1,5...1,7 ат) ва юқори босимли - 0,17...0,47 МПа (1,7...4,7 ат).

Ҳаво билан иситиш тизимлари ҳам 2 хил бўлиб, табиий ва сунъий ҳаво айланишли бўлиши мумкин. Иккала ҳолатда ҳам иссиқлик маркази сифатида колориферлар (ҳавони қиздириб берувчилар) хизмат қилади. Иккинчи ҳолатда колорифел вентилятор билан бирга ишлайди.

Хоналарни печка билан иситиш энг қадимий ва содда усуллардан ҳисобланади. Вазифасига қараб печканинг қуйидаги турлари мавжуд: иситиш печкалари, иситиш ва овқат пишириш печкаси, турар жой ошхоналаридаги иситиш қурилмали печкалар ва рус печкалари.

Биноларини печка билан иситиш содда, арзон (қуриб олиш), лекин ишлаш жараёнида ф.и.к. жуда кичик бўлиб, жуда катта сарф (ўтин ва хизмат кўрсатиш) талаб қилади.

2. Иссиқ сув билан таъминлаш

Қишлоқ хўжалигида иссиқ сув одамлар эҳтиёжига ёки ишлаб чиқариш эҳтиёжларига ишлаши мумкин.

Одамлар эҳтиёжига керакли сув турар жойларга, ётоқхоналарга, меҳмон-хоналарга, касалхоналарга, боғчаларга, умумий овқатланиш корхоналарига ва маиший хизмат корхона (кир ювиш жойлари, хаммом) ларига сарф бўлади.

Ишлаб чиқариш корхоналарининг баъзи турларида маҳсулот тайёрлаш учун иссиқ сув керак бўлади. Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида булар, чорва ва парранда фермалари, таъмирлаш устахоналари, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қайта ишлаш цехларидир.

Иссиқ сув билан таъминлашнинг қуйидаги турлари мавжуд:

- 1) Иссиқ сувни тайёр ҳолда ташқаридан (ИЭМ) олувчи марказлашган тизим;
- 2) Иссиқ сувни ўзида тайёрлаб, маълум ҳудудни таъминлайдиган марказлашган тизим;

3) Газ ёки электр сув иситкичлар ёрдамида ҳар бир бинони иссиқ сув билан таъминловчи марказлашмаган тизим.

Одамларга ва ферма ҳайвонларига иссиқ сув сарфи ($t=55^{\circ}\text{C}$) [4]

№	Иссиқ сув истеъмолчиси	сарф л/сутка
1.	Одамларнинг турар жойларида 1 та	80...130
2.	одамга	11
3.	Фермада ишлаётган 1 кишига	15
4.	Сут берадиган қорамол 1 бошига	2
5.	1 ёшгача бўлган бузоқлар 1 бошига	5
	Она чўчқалар 1 бошига	

Чорва фермаларида иссиқ сув қуйидаги мақсадларга ишлатилиши мумкин: сигирларни соғиш олдида елинларини ювишга, сут идишлари, соғиш аппарати ва сут трубаларини ювишга ҳамда қиш фаслида ҳар бир мол олдида борган автосуғоригичларга сарфланади.

Парранда фермаларида иссиқ сув хоналарни тозалашда, тухум ва тухум солинувчи идишларни ювишда керак бўлади.

3. Ферма ҳавосини мўътадиллаштириш (кондицирлаш)

Ҳавони мўътадиллаштириш деганда, махсус техник воситалар тизими ёрдамида ҳаво ҳароратини, намлигини ва тозаллигини автоматик равишда, керакли даражада ушлаб туриш тушунилади.

Ҳавони мўътадиллаштириш тизимида асосий вазифа - ҳарорат, намлик ва ҳаво ҳаракати тезлигини таъминлашдир. Баъзи илғор, ривожланган фермаларда ушбу тизим ҳавони хидлардан тозалайди, ҳавони ионлаштириб беради ва хатто шовқинни камайтиради.

Юқоридаги вазифаларни бажариш учун мўлжалланган қурилмалар тизимини-**ҳавони мўътадиллаштириш қурилмаси ёки кондиционер** дейилади.

Ҳавони мўътадиллаштириш қурилмалари ҳар бир хонага алоҳида бўлиши ёки марказлашган, яъни ҳавони марказий кондиционерда тайёрлаб ферма хоналарига қувурлар орқали юборилиши мумкин.

Агар кондиционер ташқи ҳаводан олиб, унга ишлов бериб, хонага хайдаса - **тўғри оқимли**, агар хона ҳавосидан олиб ишласа - **қайта айлантирувчи кондиционерлар** дейилади.

Парранда фермаларида саноатда ишлаб чиқарилган кондиционерлар бўлмаса, деворларга ўрнатиладиган намлантирувчи ғалтаклардан фойдаланиб хона ҳавосини совутиш ва намлантириш мумкин.

Ёзнинг иссиқ кунларида чорва ва парранда фермаларида хоналарни совутиш ҳайвонлар маҳсулдорлигига ижобий таъсир қилади. Бундай шароитда ҳавони буғлантириб -совутиш усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Битта хонани буғлантириб совутиш учун деворга ўрнатилган микроғовакли, намланиб туриладиган, ғалтаксимон қурилмалардан

фойдаланиш мумкин. Илгари айтиб ўтилганидек, буғланиш жараёни иссиқлик ютиш билан боради. Буғлатирувчи ғалтаксимон микроғовакларга нисбатан совуқроқ сув узлуксиз оқиб туриши керак. Бундай сув сифатида артезиан (ер ости) сувидан, улар бўлмаса сувни совутиб берадиган мосламалардан фойдаланиш мумкин. Ер ости (артезиан) сувларининг харорати $5... 12^{\circ}$ атрофида бўлади.

Кондиционерлар ҳаво харорати ва намлигини берилган режимларда ушлаб туриш учун автоматик бошқарув тизими билан таъминланган бўлади. Бундан ташқари, кондиционердан чиқаётган ҳавонинг сифати (намлиги, харорати)ни ва миқдорини талаб даражасига қўл билан созлаш мосламалари билан бошқарилади. Автоматик бошқариш қурилмаси датчик ва ижрочи механизмлардан иборат.

4. Ишлаб чиқариш ва маиший хизмат биноларини шамоллатиш

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида бино ҳавоси хар хил газ ва буғлар, ортикча иссиқлик ва намлик билан ифлосланиб, бузилиб туради. Газ ва буғлар чиқиш манбаи қишлоқ хўжалиги маҳсулотлари ва емлар ҳисобланади. Бино ичидаги ишлаётган одамлар, хайвонлар ва қушлар (паррандалар) узлуксиз карбонат ангидрид (CO_2) чиқариб турадилар. Бундан ташқари, хона ҳавосига қўшилиб турадиган иссиқлик одамлардан, хайвон ва паррандалардан, қуёш радиациясидан, технологик жараёнлардан ҳосил бўлади. Санаб ўтилган иссиқлик келишларни **“сезилиб турган”** иссиқлик келиши деб юритилади, чунки бу иссиқликдан хона ҳавосининг харорати ортади. Хона ҳавосига буғлар билан ҳам иссиқлик миқдори киради. Бу иссиқлик ҳаво энтальпиясини орттиради, лекин харорат ўзгармайди, шунинг учун бу иссиқликни **“яширин иссиқлик”** кириши дейилади. Иккала иссиқлик киришини қўшиб ҳисобласак, **“тўла иссиқлик”** кириши миқдори ҳосил бўлади.

Хонага кираётган иссиқлик миқдори, йўқалаётган иссиқлик миқдоридан кам бўлса-**иссиқлик етишмовчилиги**, агар аксинча бўлса, **ортикча иссиқлик** дейилади.

Ферма хонасидаги ортикча иссиқлик, намлик ва газлар у ердаги одамлар, хайвонлар, паррандалар соғлигига ва меҳнат унумдорлиги, маҳсулдорлигига ёмон таъсир қилади.

Хона ҳавосини маълум, мўътадил ҳолатда ушлаб туриш учун шамоллатиб туриш мосламалари ва қурилмалари биргаликда **шамоллатиш (вентиляция) тизими** деб юритилади.

Илгари айтиб ўтилганидек, шамоллатиш усуллари - табиий ва мажбурий бўлиши мумкин.

Табиий шамоллатиш усули ўз навбатида 2 хил бўлиб, махсус қувурларсиз ва махсус қувурли шамоллатиш турлари бор.

Махсус қувурларсиз шамоллатишда маълум тешикдан ёки дореза эшикчалари (форточка) дан ҳаво кириб хона ҳавоси янгиланади. Бу усул жуда содда ва арзон, лекин ҳаво намлиги ва хароратини бошқариш қийин.

Махсус қувурлар билан жиҳозланганда, ташқаридан кираётган ҳаво оқими қувурлар ёрдамида хоналарга ёки хонанинг ҳохлаган жойигача етиб

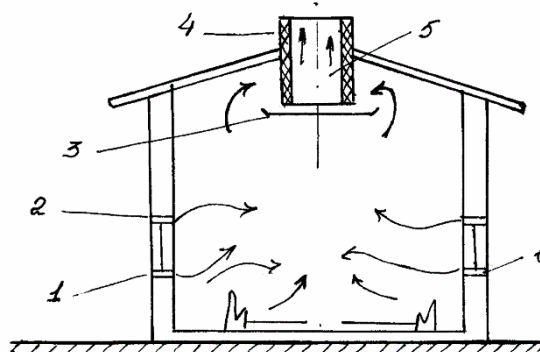
боради. Қувурлар ичига ўрнатилган (ёпиладиган) тўсиқ воситасида хона харорати ва намлигини бошқариш мумкин.

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариши биноларида энг фойдали (лекин қимматроқ) усул, мажбурий шамоллатиш усулидан фойдаланилади.

Чорва ва парранда фермаларидаги қўлланиладиган табиий шамоллатиш усулларида бири - **“шахтасимон шамоллатиш”** ҳисобланади.

1 ва 2 - дераза ости ва устидаги ҳаво кириш тирқишлари, 3- ҳаво чиқиш мўрисининг туби, 4- иситилган шахта мўриси, 5- дроссель клапани, 6-соз-ловчий ўналтирувчи клапан.

Бундай шамоллатиш усули ташқи ҳаво харорати -10°C гача тушса ҳам, хонада гигиеник ҳаво ҳолатини сақлаб тура олади.



15-шакл

Хоналарни шамоллатишда вентиляторлар қўлланилганда (мажбурий) ҳаво хайдалиши ҳам, аксинча сўриб олиниши ҳам мумкин. Бунда агар вентилятор томга қўйилса-сўриб олувчи, девор тешигига ўрнатилса-хайдовчи шамоллатиш бўлиши мумкин. Баъзи биноларда том томондан ҳаво хайдалиб, девордаги тешиклардан чиқиб кетиши билан шамоллатиш қўлланилади. Қайси усулни қўллаш бино конструкциясига ва унинг ичидаги ҳаво аэродинамикасига боғлиқ.

5. Химояланган тупроқли қурилмаларда иссиқликнинг қўлланилиши

Ерга ишлаб бериладиган, химояланган тупроқли қурилмалар деганда, атрофи девор (тўсиқ) билан ўралган, томи ёруғлик ўтказувчи материал билан ёпилган ишлаб чиқариш қурилмалари тушунилади. Бу қурилмаларда ош кўкатлари, экин кўчатлари, гуллар ва сабзавотлар етиштирилади. Очик ер майдонларда совуқ пайтда ҳам бундай қурилмалар ичида юқорида санаб ўтилган маҳсулотларни аҳолига етказиб бериш мумкин.

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида (айниқса шимолий вилоятларда) иссиқ- хоналар катта миқдорда иссиқлик энергияси ишлатади. Шунини айтиб ўтиш кифояки, иссиқхонада етиштирилган 1 кг маҳсулот ишлаб чиқариш учун 5 кг. га яқин ёнилғи кетади. Шунинг учун, бундай қурилмаларда иссиқликдан фойдаланишни такомиллаштириш ва янгидан-янги иситиш тизимлари ҳамда энергия манбаълари қидирилмоқда.

Химояланган тупроқли қурилмаларнинг конструкцияларига караб 3 та гуруҳга бўлиш мумкин:

1) **Кичик ўлчамли ер ўсти қурулмалари** -- кенглиги 1...1, 2 м , баландлиги 0,4...0,7 м бўлган, эрта экилган экинлар эгатлари бўйлаб ёпиб қўйиладиган вақтинчалик ёпиқлар. Булар содда ва арзон, 8... 10 мм.ли симлар санчиб, тиниқ полуэтилен плёнкалар тортиб қўйилади .

Кейинги йилларда хўжаликларда кичик ўлчамли ер ўсти қурилмаларининг каттароқ ўлчамлилари кенг қўлланилмоқда. Кўпинча шахсий

хўжаликларда кенглиги 4... 8 м ва узунлиги 5... 20 м булган қурилмалар ишлатилмоқда. Бу қурилмалар диаметри 14...20 мм, бўлган думалоқ металл прокатларини ёйсимон шаклда эгиб, каркас ҳосил қилиниб, устига полиэтилен плёнкалари ёзиб қўйилади. Шу сабабли бундай қурилмаларни халқ тилида - “каркас” деб юритилмоқда.

Каркас - ер усти қурилмаларида экин кўчатлари, ош кўчатлари, редиска, гуллар ва эртаки сабзавотлар етиштирилмоқда. Баъзи хусусий хўжалик эгалари бу қурилмаларни эрта баҳорда оддий печ ёки сув билан иситишни ташкил қилмоқда.

2) **Кичик ўлчамли ўралардаги қурилмалар** -- парниклар, баъзан тўла, баъзан ярим ўрамларда қурилиб, атрофи бетон ёки тахталар билан мустаҳкамланади. Устки томони дераза ромлари каби ойна билан ёки ёруғлик ўтказувчи полиэтилен плёнкалари билан ёпилади.

Бундай қурилмалар кўпинча, сабзавот кўчатлари етиштириш учун қўлланилади. Кейинги йилларда бундай ўраларда цитрус экинлари - лимон, апельсин етиштиришни сохибкорларимиз йўлга қўйдилар. Маълумки, бу ўсимликлар Республикамиз об- ҳавосида очик майдонларда ўса олмайди.

3) **Катта ўлчамли ер усти қурилмалари (иссиқхоналар)** -- ҳимояланган тупроқли қурилмаларнинг энг такомиллашгани бўлиб ҳисобланади.

Иссиқхоналар - кўчмас мулк, яъни бинолар каби бир неча йилга мўлжаллаб қурилади. Унинг ичида махсус иситиш ва шамоллатиш тизимлари воситасида керакли иқлимни таъминлаб турилади. Катта-катта сабзавот етиштириш иссиқхона комбинатлари мавжуд бўлиб, баъзи ҳолларда уларнинг майдонлари 60 гектарга етиши ҳам мумкин. Иссиқхона ичида механизацияни қўллаш мумкин бўлиб, кичик ўлчамли трактор ва қишлоқ хўжалик машиналари ишлайди.

Иссиқхона тик тўсиқларининг пастки қисми ғишт ёки бетондан қилинади. Деворларининг юқори қисми ва томлари ойнадан қилинади.

Кейинги йилларда, баъзи иқлими совуқ мамлакатларда иссиқхоналарнинг янги конструкциялари қўлланилмоқда. Масалан, минорасимон иссиқхоналарда экин экилган яшикчалар занжирларга маҳкамланиб, тик йўналиш бўйича 0,3 ...0,5 метр/мин тезликда ҳаракатланиб туради. Бундай иссиқхоналарда иситилган бино ҳажмидан яхшироқ фойдаланилади, чунки экин экилган яшикчалар битта тик йўналишда 12...15 тагача бўлиш мумкин. Бу қурилмалар иссиқ ёки ўртача иқлимли мамлакатлар учун жуда мураккаб ва қимматлик қилди.

Ҳимояланган тупроқли қурилмалар қуёш радиацияси, биоёнилғи ёки ҳар хил техник воситалар ёрдамида иситилиши мумкин.

1) Республикамиз каби илиқ иқлимли шароитда қуёш иссиқлиги ҳисобига, кичик ўлчамли ер усти ёпиқлари (каркас)дан фойдаланиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Хўжаликларда бу қурилмалар ичида экин кўчатлари, эрта очиладиган гул ва эртаки сабзавотлар етиштирилмоқда.

2) Биологик усулда иситиш кўпинча ўра ва ярим ўра усулидаги парникларда қўлланилади. Буларда иссиқлик манбаи бўлиб - гўнг ёки саноат чиқиндиларининг ачиши натижасида ҳосил бўладиган бактерияларнинг чиқарадиган иссиқлиги ҳисобланади. Парник ўраларининг тупроқлари остига

маълум калинликда биоёнилғи- яъни янги гўнг ёки пахта чигити пўстлоғи солинади.

3) Техник усулда иситиш юқорида айтилган иситиш усуллариға қараганда мукамал, лекин мураккаброқ ва демак қимматроқ.

Иссиқлик билан таъминлаш тизимиға нисбатан иситиш манбаининг жойлашувига қараб, марказлашган, маҳаллий ва якка тартибдаги иситиш утхоналари бўлади. Марказлашган иссиқлик таъминоти катта шаҳарларда ва унинг атрофларида бўлиб, иссиқлик ТЭЦ, АТЭЦ ёки АСТ (теплоэлектротенрал, атомные ТЭЦ, атомные станции теплоснабжения) лардан олинди.

Маҳаллий иссиқлик таъминотида иссиқхонанинг ўзига алоҳида қозон-ўтхона бўлади.

Якка тартибдаги иситиш, кўпинча хусусий хўжаликларда бўлиб, шу битта иссиқ -хонани иситишни ҳисобға олади.

Иссиқхоналарни иситишда қўлланиладиган усуллар; сув билан иситиш, буғ билан иситиш, газ ёки ҳаво билан иситиш ҳамда бир вақтнинг ўзида икки хил усул қулланиши мумкин. Бу санаб утилган усулларнинг қупчилиги аҳолиға анча таниш. Биз қуйида газ билан иситишға бироз тўхталмоқчимиз.

Газни бевосита иссиқхона ичида ёқиш натижасида иситиш тизими катта ҳаражат талаб қилмайди. Газни иссиқхонада ёқишнинг бошқа турли усуллари, яъни иссиқлик генераторларида, микроалангали горелкаларда, ҳамда инфракизил нурлантиргичларда ёқиш усуллари бўлиши мумкин.

Газ билан иситишнинг яна бир афзаллиги - ёниш маҳсулотларидаги карбонат ангидрид (CO_2) гази ўсимликлардаги фотосинтез жараёнини тезлаштиради ва экинларни тезроқ етилиши имконини яратади.

Шуларға қарамай, газ билан иситишнинг кенг қўлланилмаслигига сабаб – иссиқхона ичида ишловчилар учун ҳавонинг гигиеник ҳолати бузилганлиги бўлади, яъни ҳаво таркибида CO_2 гази керагидан ортиқча бўлади.

Иссиқхоналарнинг ўта исиб кетиши ҳамда намлигининг ортишини олдини олиш учун шамоллатиб, ҳавосини янгилаб туриш керак. Шамоллатиш, аввал айтиб ўтилганидек, табиий ва мажбурий усулларда бўлиши мумкин. Баъзи ҳолларда иссиқхоналарни озиклантириш технологияси билан бирға бажарилади.

Маълумки, табиатда тирик организмлар билан ўсимликлар орасида O_2 ва CO_2 газлари алмашинувида маълум мувозанат мавжуд. Иссиқхоналар ичида эса тирик организм кам, ўсимликлар жуда кўп бўлганлиги учун ҳавода CO_2 гази етишмайди, бу ҳолат ўсимликлар фотосинтез жараёнини сусайтиради. Демак, иссиқхоналарни шамоллатиш, керак бўлса, CO_2 гази билан бойитиб туриш ҳам керак.

Иссиқхоналарнинг кўпчилиги ҳавонинг ҳароратини, намлигини, ҳавосининг таркибини назорат қилиб, автоматик бошқариб турувчи мосламалар тизими билан таъминланган бўлади.

6. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритиш

Қуритиш-жисмлардаги намликни камайтириш дегани. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини қуритиш халқ хўжалигида катта амалий аҳамиятга эга. Маҳсулотларни сифатли сақлаш, айниқса, дон маҳсулотлари, пахта толаси, картошка, озукабоп ва емларни етиштиришда қишлоқ хўжалиги технологиясининг давоми ҳисобланади.

Иссиқ иқлимли мамлакатларда, шу жумладан Республикамизда меваларни қуритиш ва қишга сақлаш-катта иқтисодий ва амалий аҳамиятга эга.

Маълумки, маҳсулотлардаги намлик миқдори кўп бўлганда хужайраларнинг нафас олиши қийинлашади, бу эса микроорганизмларнинг ривожланиши учун яхши шароит яратиб, маҳсулотларни чиришига олиб келади.

Француз мутахассисларининг ҳисоблашларига кўра дунёда 100 млн.тоннага яқин дон маҳсулотлари намлик ҳисобига яроқсиз ҳолга келиб қолади. Демак, маҳсулотларни қуритишга мослашган қурилмаларни тайёрлаш ва ишлатишга кетган сарф-харажатлар тезда ўзини қоплайди ва фойда бера бошлайди.

Қуритиш жараёнида намликнинг камайишидан ташқари маҳсулотнинг хусусиятлари: механик структураси, биологик ва технологик хоссалари ҳам яхшиланади. Масалан, қуритилган буғдойни ун қилишда озроқ энергия сарфланади, уни биров кўпаяди ва ун узокроқ, муддат яхши сақланади, Уруғлик буғдой, чигит ва бошқалар қуритилиб сақланса баҳорда ерга экилганда униб чиқиш фойизи ортади.

Қишлоқ хўжалигида иссиқлик билан қуритиш асосий ўринни эгаллайди. Қуритиш жараёнида мураккаб масса-иссиқлик алмашилиши содир бўлади. Бундай жараёнларни пухта ўзлаштириш, иссиқлик ҳисобини тўғри бажариш ва иссиқлик режимини танлаш мутахассислардан билим ва тажриба талаб қилади.

Жисмдан намликни кетказиш учун жисм билан намлик орасидаги боғланишни йўқотиш (узиш) керак бўлганлиги учун ҳам қуритишда энергия сарфланади.

Жисм билан намлик орасидаги боғланишни академик П.А. Ребиндер таклифига кўра 3 та турга ажратиш мумкин: химиявий, физик-химиявий ва физик-механик боғланишлар.

Кимёвий боғланиш бўлганда намликни оддий қуритиш усули билан йўқотиб бўлмайди, яъни кимёвий парчаланиш учун кимёвий реакция керак.

Физик-химиявий боғланишда икки хил ҳодиса бўлиши мумкин: жисм сирти ва ғовақларига сўриб олинган намлик ва хужайралар орасига кириб қолган (осмотик) намлик. Биринчи ҳолдаги намликни иситиб буғлантириб қуритиш мумкин, иккинчи ҳолдаги намлик натижасида жисм шишиб кетади (айниқса, донлар), уни қуритиш қийинроқ, лекин физик йўл билан мумкин.

Физик-механик боғланиш жисм билан намлик боғланиши энг кам кучли бўлиб, 2 хил ҳолат учрайди: сиртдаги намлик ва капилляр намлик. Бундай боғланиш билан намланган маҳсулотларни механик усулда: тебратиш, қимирлатиш, елпиш орқали ҳам қуритиш мумкин.

Маҳсулотнинг қуритиш технологиясини ва иссиқлик режимини танлашда унинг айрим хоссаларини билиш керак. Масалан: маҳсулотнинг солиштириш юзаси-1 кг маҳсулот доналарининг сирти (буғдой учун $170 \dots 175 \text{ м}^2/\text{кг}$). Маҳсулотларнинг қуритишдаги керакли бўладиган хоссаларидан: материалнинг

намлиги, намлик микдори, намликнинг зичлиги, модда (маҳсулот) зичлиги, харорат ўтказувчанлиги, намликнинг диффузияланиш коэффициенти ҳисобланади.

7. Қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ташишда ва сақлашда совуқ (муз) дан фойдаланиш

Аҳолини ёз ойларида ташқари, қиш ва баҳор ойларида ҳам сабзавот ва мевалар билан таъминлашда маҳсулотларни тўғри ва сифатли сақлаш жараёнини яхши ташкил қилишга боғлиқ.

Маҳсулотларни сақлаш шароити асосан 2 та омилга- харорат ва намликка талаб қилинади. Масалан, картошка учун $+2..+4^{\circ}\text{C}$, сабзи учун пастроқ $-0..+1^{\circ}\text{C}$, пиёзни сақлашда, аввал иссиқ ($+17^{\circ}\text{C}$) сақлаб қуришти олинади, кейин совуқда $0..+3^{\circ}\text{C}$ да сақлаш керак.

Хаво намлиги, пиёздан бошқа илдизмевалилар учун - 80... 95%, пиёз учун эса намлик 60...70% дан ортмаслик керак.

Қишлоқ шароитида қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини сақлашда энг оддий усул- ер устида, ёки бироз ерни ўйиб ғарамлаб сақлаш мумкин. Ғарам кенглиги картошка учун 2...2,5, сабзи учун эса 1м дан камроқ, узунлиги 15...20м атрофида бўлиши керак.

Ғарам остида шамоллатиш қувури бўлиши мақсадга мувофиқ. Маҳсулот ғарамлангандан кейин устига похол, сомон ёки арра тўпони ёпиб, сўнг усти тупроқ билан ёпилади.

Маҳсулотларни сақлашнинг иккинчи содда усули узунасига қазилган ўралар ҳисобланади. Ўраларнинг кенглиги 1м атрофида 30 кг ли яшиқларда қум аралаш сақлаш тавсия этилади. Иссиқ мамлакатларда, шу жумладан Республикамизда хўжаликлар сабзини “**муз ўра**” усулида узоқ муддат сақлайдилар. Бу усулда ўрадаги сабзи қатламлари орасига арра қипиги (ёки шоли тўфони) солиб, устига қор босиб чиқилади. Шунда сабзининг харорати тахминан $0..+1^{\circ}\text{C}$ орасида бўлиб, яхши сақланади.

Марказлашган сабзавот ва мева сақлаш омборларида харорат, намлик ва шамоллатиш тизимлари автоматлаштирилган ҳолатда бўлади. Бундай омборларнинг маҳсулот сифими 1минг тоннадан 10 минг тоннагача бўлиши мумкин.

Иссиқ мамлакатларда, шу жумладан Республикамизда, меваларни ва полиз экинларни сақлашда марказлашган сақлаш омборларида амалга оширилади. Хусусий хўжаликларда қовун, тарвуз ва узумларни намлик ва харорат етарли бўлган омборхоналарида хавога (шифтга) осиб қўйиш билан сақлайдилар. Нок, олма, беҳи каби мевалар эса шундай омборхоналарда 25...30 кг ли яшиқларда арра тўфони ёки сомон орасида яхши сақлаш анъанавий халқ тажрибасидан келиб чиқиб ҳозирда ҳам қўлланилмоқда.

Марказлашган сақлаш омборлари, баъзи ҳолларда факат 1 та маҳсулот турига мослаштирилган бўлиши мумкин. Масалан, картошкани 3 та сақлаш даврига ажратиш мумкин: даволаш, совитиш ва сақлаш режими даврлари. Шунингдек, пиёзни сақлаш ҳам - қуришти, совушти ва сақлаш режимларини талаб қилади.

Қишлоқ хўжалик маҳсулотларни сақлаш омборлари ҳам иссиқхоналар каби шамоллатиш тизимлари билан таъминланган бўлиб, улар кўп ҳолларда тўла

автоматлаштирилган бўлади. Бу тизимлар сақлаш хоналарида керакли микроиклимни таъминлаб туради.

Қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришда махсулотларни совутиш технологик жараёнинг давоми хисобланади. Гўшт ва сут махсулотлари ишлаб чиқарилган жойдан истеъмолчига ёки қайта ишловчи корхоналарга жўнатиш олдидан совутилади.

Махсулотларни совутиш хавода, совуқ сувда, эриётган музи бор сувда ва совуқ сувни сочиш билан амалга оширилади.

Хавода совутиш асосан совутиш камераларида амалга оширилиб, харорат $0...-1^{\circ}\text{C}$ атрофида, намлик эса 95% бўлади.

Сувда совутишда махсулотларни совуқ сувга чўктириш, ювиш ёки совуқ сувни сепиш орқали бажарилиши мумкин. Яхшилаб совутилган гўшт махсулотлари 5 кунгача сақланиши мумкин.

Хавода совутиш асосан совутгич (холодильник) ларда амалага оширилади. Гўшт махсулотларини музлатиш учун совутиш камераларидаги харорат - $23 - 25^{\circ}\text{C}$ гача пасайган бўлиши керак. Тухумларни сақлаш учун харорат $-1... - 2^{\circ}\text{C}$ бўлиши керак. Мева ва сабзавотлар, аввалги мавзуда айтиб ўтилганидек, махсус иқлимли сақлаш омборларида туриши керак.

Махсулотларни сақлашда ва ташишда хўжаликларда тайёр муздан фойдаланиш содда ва нисбатан арзонроқ бўлади. Сут махсулотлари, музқаймоқ ва бошқа махсулотларнинг бидонини муз солинган ёғоч бочкаларда сақлаш ва ташиш мумкин.

Махсулотларни сақлашда муздан фойдаланишни 1 та усули илгари айтиб ўтилганидек, сабзиларни “муз ўрада” сақлаш бўлса, баъзи хўжаликларда махсулотларни сақлаш учун музли омборхоналар қуриб олинади.

Музли омборхоналарнинг деворлари 2 қаватли қилиниб, бўш ораликларга муз тўлғазиб қўйилади.

Табиий ёки мажбурий шамоллатиш орқали ва девор орқали совуқлик махсулот сақланаётган хоналарга киради. Маълум муддатда албатта муз эриб тугайди, демак музни янгилаб турилади. Замонавий қишлоқ хўжалиги махсулотларини сақлаш қурилмалари - совутгичлар хисобланади, яъни совуқлик машина ва механизмлар воситасида яратилади.

Совутгичларда ишчи жисм совутиш хонасидан иссиқлик миқдорини ташқи муҳитга чиқариб юбориш учун маъсул иш циклини бажаради.

Совутгичларда ишлатиладиган ишчи жисмлар, бу жуда паст хароратларда қайнайдиган суюқликлар бўлиб хисобланади. Шулардан баъзилари билан танишамиз.

Аммиак (NH_3)- $0,1\text{МПа}$ босимда қайнаш харорати $-33,4^{\circ}\text{C}$. Асосий камчилиги захарли хид чиқаради ва ёнувчан, кейинги пайтларда совутгич (холодильник)ларда “фереон-12” ва “фереон-22” (F-12 ва F-22) ишлатилмоқда. Уларнинг $0,1\text{МПа}$ босимда қайнаш хароратлари мос равишда - $29,8^{\circ}\text{C}$. Бу ишчи жисмлар, яъни фереонлар сақланаётган озиқ - овқат махсулотларига таъсир қилмайди. Камчилиги эса, ўта оқувчан бўлиб, совутиш тизими жипслилигини талаб қилади.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Биноларни иситиш ҳақида тушунчангиз?

2. Ферма ҳавосини муътадиллаштириш деганда нимани тушунаси?
3. И/ч ва маиший хизмат биноларини шамоллатиш ҳақида маълумот беринг?
4. Ҳимояланган тупроқли қурилмалар ҳақида тушунча.
5. Ҳимояланган тупроқли қурилмаларда иссиқликни қўлланилиши.
6. Қ/х маҳсулотларини қуриштириш ва сақлаш ҳақида тушунча беринг?
7. Қ/х маҳсулотларини сақлашдаги намлик режими.
8. Қ/х маҳсулотларини сақлашда совитгич ва муздан фойдаланиш.
9. Қ/и/ч биноларини иссиқлик билан таъминлаш усуллари.
10. Қ/х ишлаб чиқаришини иссиқ сув билан таъминлаш ҳақида маълумот беринг?

Маъруза №18 . – 2 соат

Мавзу: Совитувчи қурилмалар ва иссиқлик насослари ҳақида тушунча

Мақсад:

Мавзуда ўрганиладиган асосий масалалар:

1. Совитувчи қурилмалар.
2. Совитгич машиналари ҳақидаги умумий тушунчалар.
3. Иссиқлик насослари.

1. Совитувчи қурилмалар

Саноатда, корхоналарда, қишлоқ хўжалигида, турмушда ва бошқа кўпчилик ҳолларда жисм (маҳсулот) нинг ҳарорати муҳит ҳароратидан пастроқ бўлиши талаб қилинади. Бундай вазиятда совитилиши керак бўлган жисмдан муҳитга иссиқликни ўтказиш керак бўлади.

Бундай жараён иссиқлик машиналарига нисбатан тескари йўналишдаги циклда бажарилиб - **совитувчи қурилмалар** деб юритилади.

Совитувчи қурилма циклини бажариш учун сарфланадиган энергиянинг турига қараб: компрессорли ёки сўрувчи (абсорбция) совитгич қурилмалари мавжуд. Совитгичнинг биринчи турида механик энергия, иккинчи турида эса иссиқлик энергияси сарфланади, Ҳаётимизда кўпроқ компрессорли совитувчи қурилма цикллари ишлатилмоқда.

Бундай циклда совитувчи модда (ишчи жисм) сифатида паст ҳароратларда қайнаб буғланувчи суюқликлар (аммиак, фреон ва бошқалар) ишлатилади.

Қурилманинг ишлаш жараёни қуйидагича: совитувчи модда совитилаётган жисмдан олган иссиқлик ҳисобига буғланиб (қайнаб), сўнгра ташқаридан бериладиган энергия ҳисобига буғ яна суюқликка айлантирилади. Сўнгра жараён такрорланаверади, яъни совитиш камерасида буғланиш,

компрессор билан буғни қисилишида конденсация (суюқликка айланиш) ва яна совитиш камерасида буғланиш жараёни бўлиб цикл такрорланаверади.

Қурилмада вақт бирлигида (1соатда) совитилаётган жисмдан совитувчи жисм томонидан олинган Q иссиқлик миқдори совитувчи қурилманинг **совуқлик ишлаб чиқариш унумдорлиги** дейилади.

Агар совитувчи модданинг суюқликка айлантиришда мухитга ўтаётган иссиқлик миқдорини q_1 , совитилаётган жисмдан совитувчи жисмга ўтаётган (буғланишида) иссиқлик миқдорини q_2 (1кг совитувчи моддага хисоблаганда) деб белгиласак, циклни бажаришга сарфланган иш $q_1 - q_2 = \ell$ бўлади. Совитувчи қурилмаларни иш самарадорлиги совитилаётган жисмдан олинган иссиқлик миқдори q_2 нинг циклни бажаришга сарфланган иш миқдорининг нисбати билан ўлчанади.

$$\varepsilon = \frac{q_2}{\ell} = \frac{q}{q_1 - q_2} \quad (129)$$

ε (ипсилон) - қурилманинг совитиш даражаси.

Циклни бажариш учун сарфланадиган иш миқдорини (130) тенгликдан топиш мумкин.

$$\ell = \frac{q_2}{\varepsilon} \quad (130)$$

Совуқлик ишлаб чиқариш унумдорлиги Q бўлса, компрессорни ҳаракатлантириш учун (совитгич қурилма оладиган) қувват ққйидагича аниқланади.

$$N = \frac{Q}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \omega} \text{ кВт} \quad (131)$$

2.Совитгич машиналари ҳақидаги умумий тушунчалар

Совитгич машиналар керакли вақтда ташқи мухит ҳароратидан паст бўлган ва совуқ ҳароратни ҳосил қилади ва уни маълум вақтгача ушлаб туриш учун хизмат қилади.

Ҳароратни пастлатиб туриш учун ишчи жисм (совитувчи агент) осон қайновчи суюқликдан фойдаланилади.

Бу суюқлик қайнаш ва алмашилиш (конденсация) жараёнлари орқали иссиқликни ташиб чиқади. Унинг учун шундай суюқликлар танланганки, бунда керакли ҳароратни олиш учун паст босимда олиш мумкин.

Совитгич машиналари билан бир қанча қисмлардан ташкил топган. Бу қисмлар асосий ва ёрдамчи қисмларга бўлиниб, керакли ҳароратни ва керакли босимни пастлашиш учун бу орқали айланма жараённи ташкил қилишда ҳосил қилиш учун хизмат қилади.

Совитгич машиналарида аниқланган миқдордаги совитувчи агент циркуляция бўлади, факат бу суюқлик ўзини ҳолатини қайнаш ва конденсация қилиш Билан ўзгартириб туради.

Хозирги кунда халқ хўжалигида қуйидаги совитгич машиналари фойдаланилмоқда.

1) Буғли совитгич машиналари

Бу машиналар асосан совитувчи агентни қайнаб парланиши хисобига ишлайди. Буғли совитгич машиналари асосан:

- компрессорлои
- абсорбционли
- пароэлектрли

2) Газ ёки ҳаво ёрдамида ишловчи компрессорли машиналар

Бу машиналар сиқилган газни кенгайиш хисобига хароратни пастлатади.

Хозирги кунда кўпроқ буғли совитгич машиналари қўлланилмоқда.

Бу машиналар қуйидаги асосий қисмлардан ташкил топган (1-расм).

1-Буғлатгич - ташқи муҳит харорати хисобига белгиланган босимда совитувчи агент бўлган суюқликни буғлатиш учун хизмат қилади.

2- Суюқлик ажратгич ҳосил бўлган буғ таркибидан суюқлик томчиларини ажратиб туради.

3- Компрессор – иш сарф қилиш хисобига совитувчи агентни сиқиб буғлатгичдан чиқариб юбориш учун хизмат қилади.

4- Конденсатор – совитувчи агентни сиқилган буғ ҳолатлар суюқлик ҳолатига айлантиради. Суюқлик муҳити хисобланган ҳаво ёки сувдаги иссиқликни узатади ва мос равишда олдиндан босимни кўтаришга хизмат қилади.

5-Созловчи винтель - совитувчи агентни буғлатгичга ўтишини созлайди, бунда винтельни тор қисмидан ўтишда дроселлаш жараёни содир бўлади. Бунинг учун совитувчи агент созловчи винтелда белгиланган паст хароратда суюқликни босими конденсация босимидан буғланиш босимигача камаяди.

Совитувчи агентлар

Совитувчи агентлар инсон организми учун зарарсиз бўлиши, металлларни коррозиядан сақланишига ёрдам берадиган ва портламайдиган суюқлик бўлиши керак. Бундан ташқари, уларни термодинамикавий хоссалари қуйидагича бўлиши керак:

- буғланиш ва конденсация бўлиш хароратида босимни пастлиги;
- буғнинг солиштирма ҳажми кичиклиги;
- суюқлик иссиқлик сиғимининг кичиклиги;
- иссиқлик ўтказувчанлиги ва иссиқлик узатиш коэффициентлари юқори бўлиши керак.

Совитувчи агентни физик хоссаларига кўра учта группага бўлинади. Атмосфера босимидан юқори, ўртача ва паст хароратда буғланади.

3. Иссиқлик насослари

Табиатда жуда кўп иссиқлик миқдорлари мавжуд бўлиб, уларнинг хароратлари 273 °К дан юқори, лекин иссиқлик машиналарида ишлатиш учун камлик қилади. Масалан; денгиз, дарё ва булоқ сувларининг хароратлари 0 °С дан анча юқори. Баъзи холларда, корхона ва хўжаликларда анча юқори хароратли сувлар ҳам ташқарига тўкиб юборилади.

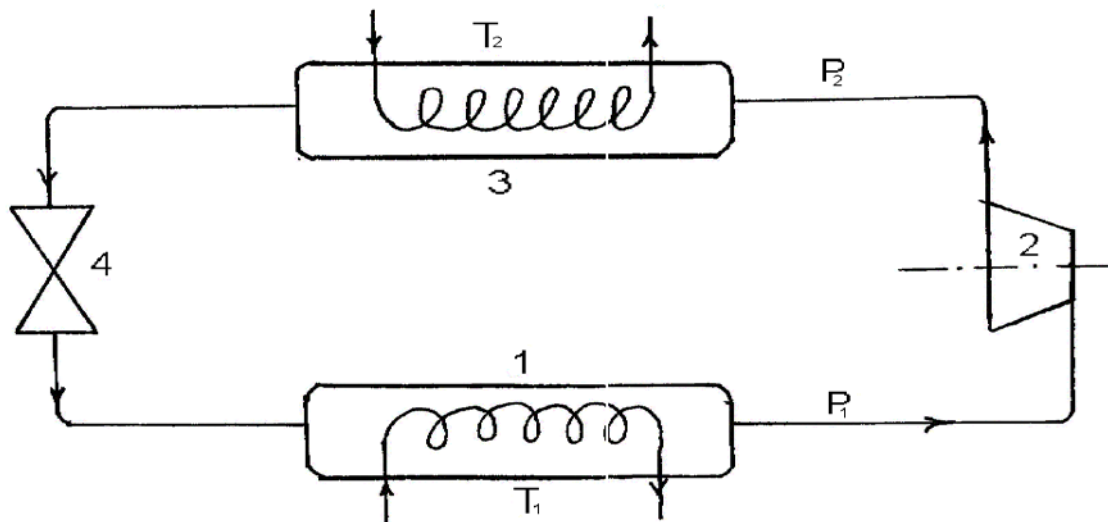
Нисбатан юкори бўлмаган ($10...20^{\circ}\text{C}$) хароратли иссиқлик манбаларининг иссиқлигидан фойдаланиш учун **иссиқлик насослари** деган қурилмалар ишлатилади.

Изох: Сув юқоридан пастга ўзи оқди, пастдан юқорига сув насоси билан мажбуран хайдалади.

Шунингдек, иссиқроқ жисмдан совуқроқ жисмга иссиқлик ўзи ўтади, совуқроқ жисмдан

иссиқроқ жисмга иссиқлик ўзи ўтмайди, иссиқлик насоси билан мажбуран хайдалади.

Қурилманинг ишлаш кетма-кетлиги куйидагича (16-шакл): T_1 хароратли дарё суви буғлатгич (1) ичидаги труба чулғами (змеевик) оркали ўтиб ўзидаги кўп бўлмаган иссиқлик миқдори q_1 хисобига енгил буғланадиган суюқлик (фреон) ни буғлантиради. Хосил бўлган фреон буғи компрессор (2) да сиқилиб босими P_2 ва харорати T_2 га кўтарилади. Енгил буғланадиган ишчи жисм (фреон) нинг буғи конденсатор 3 да суюқликка айланиб, буғнинг суюқликка айланишидаги q иссиқлик миқдорини труба чулғами ичидан ўтаётган сувга беради.



16-шакл

Нисбатан совиган ишчи жисм (фреон) суюқ ҳолатда босим пасайтиргич (дрессель) оркали яна буғлатгич (1) га келади ва цикл такрорланаверади.

Шундай қилиб, нисбатан пастроқ хароратли дарё сувининг иссиқлиги, айтайлик хоналарни иситиш учун керакли $50...60^{\circ}\text{C}$ ли сувга хайдалади.

Яъни тахминан $10...15^{\circ}\text{C}$ ли сув билан хоналарни $50...60^{\circ}\text{C}$ ли иситувчи сув билан таъминлаш мумкин.

Иссиқлик насосини ишлатиш учун сарфланадиган иш миқдори:

$$\ell = q - q_1$$

Иссиқликдан фойдаланиш коэффициенти эса:

$$\varepsilon = \frac{q}{\ell} = \frac{q}{q - q_1} = 1 + \frac{q_1}{\ell} \quad (132)$$

Тенгликдан кўриниб турибдики, коэффициент ε нинг қиймати бирдан катта.

Агар иссиқлик насоси Карно (тескари) цикли бўйича ишласа:

$$\varepsilon = \frac{q}{\ell} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (133)$$

Тушунарлироқ бўлиши учун мисол келтирамиз; дарё суви $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($280\text{ }^{\circ}\text{K}$), хоналарни иситиш учун эса $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($343\text{ }^{\circ}\text{K}$) ли сув керак бўлса,

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{343}{343 - 280} = 5,4$$

ёки

$$q = \varepsilon \cdot \ell = 5,4 \cdot \ell$$

Яъни қурилма (насос) ўзини айлантиришга сарфланадиган ишга қараганда 5,4 марта кўпроқ иссиқлик беради.

Ўз-ўзини назорат қилиш учун саволлар:

1. Совитувчи қурилмалар ҳақида тушунча беринг?
2. Совитувчи қурилма циклини бажаришга сарфланадиган иш, қувват ва унинг самарадорлиги ҳақида маълумот беринг?
3. Иссиқлик насослари ҳақида тушунча беринг?
4. Иссиқлик насосларида сарфланадиган иш ва иссиқликдан фойдаланиш коэффиценти ҳақида тушунчангиз?
5. Иссиқлик насоси схемасини келтиринг.

