**Кыргыз Республикасынын билим берүү жана илим министрлиги**

**И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университети**

**«Жылуулук энергетика» кафедрасы**

**ЖЫЛУУЛУК ЭНЕРГЕТИКАЛЫК ОРНОТМОЛОРУ**

Студенттердин өз алдынча иштөө окуу усулдук көрсөтмөсү.

Бардык адистиктеги студенттер үчүн арналат

**Бишкек 2024-жыл**

**УДК.621.315.65**

**Авторлор: Сүйүнтбекова Н.А., Насирдинова С.М., Стамбекова Г.А.**

**Рецензенттер**: И Раззаков атындагы КМТУнин филиалы Токмок техникалык институтунун “Электроэнергетикасы” кафедрасынын т.и.к., профессору М.А.Суеркулов, К.И.Скрябин атындагы Кыргыз Улуттук Агрардык Университетинин “Айыл чарбасын электрлештирүү жана автоматташтыруу” кафедрасынын доценти, т.и.к., Н.С.Караева.

**“Жылуулук энергетикалык орнотмолору”.** Студенттердин өз алдынча иштөө окуу усулдук көрсөтмөсү. Бардык адистиктеги студенттер үчүн арналат. Бишкек: 2024 -126 б.

Окуу усулдук көрсөтмө 3 бөлүктү камтыйт: I бөлүк «Термодинамика», II бөлүк «Жылуулук масса алмашуусу», III бөлүк «Жылуулук энергетикалык орнотмолору (ЖЭО)» деп аталат.

Окуу усулдук көрсөтмөнүн биринчи бөлүгүтермодинамиканын негизги жоболорун жана аларды жылуулук менен күч берүүчү орнотмолордун ар кандай термодинамикалык процесстери менен циклдарын анализдөө учурунда туура колдонууну баяндап берүүгө арналган.

Окуу усулдук көрсөтмөнүн экинчи бөлүгүндө жылуулук масса алмашуу теориясынын жана ар кандай колдонмо тапшырмаларынын негизги жоболору каралган.

Окуу усулдук көрсөтмөнүн үчүнчү бөлүгүндө жылуулукту пайдалануунун энергетикалык жана экологиялык көйгөйлөрү баяндалган, анын ичинде унаа жана өнөр жай пайдалануусу үчүн күйүүчү отундун жылуулугу, энергетика менен камсыз кылуу, айлана-чөйрөнүн «жылуулук» жана уулуу заттар менен булгануу маселелери каралган.

Окуу усулдук көрсөтмө механикалык жана жылуулук термодинамика, ошондой эле жылуулук масса алмашуусунун теориясы боюнча бир катар негизги маалыматтар менен колдонмо багытка ээ болот. Практикалык кызыгууну жарата турган ар кандай тапшырмаларды коюуну жана чечүүнү камтыйт.

©**Н.А.Сүйүнтбекова, Насирдинова С.М.,**

**Стамбекова Г.А.**

***Кириш сөз***

Жылуулук энергетикалык орнотмолору окуу усулдук куралы, инженердик адистерди даярдоодогу жалпы техникалык негизги дисциплиналардын бирөөсү болуп саналат. Бул азыркы заманбап техниканын бардык техникалык түзүлүштөрүндө жана технологиялык процесстеринде жылуулукту алуу, пайдалануу жана алып жүрүү процесстери практика жүзүндө пайдаланылышы менен түшүндүрүлөт. Ар кандай типтеги кыймылдаткычтарды, муздатуучу жана түтүк менен үйлөтмө орнотмолорду алдын-ала эсептөөдө, курулуш материалдарын жана жол кийимдерин өндүрүүдөгү технологиялык процесстерди долбоорлоодо, тетиктерди калыбына келтирүүдө ж.б. учурларда заманбап адистер термодинамика менен жылуулук масса алмашуусунун негизги закондорун пайдалануу аркылуу ар кандай колдонмо тапшырмаларды туура түзүп жана аны туура чече билүүсү керек.

Окуу усулдук куралы үч бөлүктү камтыйт: I бөлүк «Техникалык термодинамика», II бөлүк «Жылуулук масса алмашуусу» III бөлүк «Жылуулук энергетикалык орнотмолору (ЖЭО)» деп аталат.

**Окуу усулдук куралынын биринчи бөлүгү** (1...6-главалар) термодинамиканын негизги жоболорун жана аларды жылуулук менен күч берүүчү орнотмолордун ар кандай термодинамикалык процесстери менен циклдарын анализдөө учурунда туура колдонууну баяндап берүүгө арналган. Окуу усулдук куралынын биринчи бөлүгүндө 9 маселе жана 6 текшерүү суроолорун камтыйт.

**Окуу усулдук куралынын экинчи бөлүгүндө** (7...12-главалар) жылуулук масса алмашуу теориясынын жана ар кандай колдонмо тапшырмаларынын негизги жоболору каралган. Окуу усулдук куралдын экинчи бөлүгүндө 5 маселе жана 8 текшерүү суроолорун камтыйт.

**Окуу усулдук куралынын үчүнчү бөлүгүндө** (13-главаларында) жылуулукту пайдалануунун энергетикалык жана экологиялык көйгөйлөрү баяндалган, анын ичинде унаа жана өнөр жай пайдалануусу үчүн күйүүчү отундун жылуулугу, энергетика менен камсыз кылуу, айлана-чөйрөнүн «жылуулук» жана уулуу заттар менен булгануу маселелери каралган. Окуу усулдук куралдын үчүнчү бөлүгүндө 1 маселе жана 1 текшерүү суроосун камтыйт.

III бөлүктө каралган маселелер жогорку курстарда окутулуучу термодинамиканын жана жылуулук алмашуунун, ошондой эле атайын дисциплиналардын ортосундагы болгон ажырымдарды белгилүү даражада толтуруп турууга мүмкүндүк берет.

Окуу усулдук куралы механикалык жана жылуулук термодинамика, ошондой эле жылуулук масса алмашуусунун теориясы боюнча бир катар негизги маалыматтар менен колдонмо багытка ээ болот. Практикалык кызыгууну жарата турган ар кандай тапшырмаларды коюуну жана чечүүнү камтыйт.

Авторлор жылуулук техникасынын теориялык жана практикалык маселелерин баяндап берүүнүн заманбап денгээли менен эсептөө техникаларын окутуунун активдүү формасы катары кеңири колдонуусун айкалыштырып турган окуу куралын түзүүгө аракет кылган.

Өз алдынча иштөөгө арналган тапшырмалар студенттер тарабынан вариаттар аркылуу аткарылат.

***Техникалык термодинамика***

**1. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар**

Техникалык термодинамиканын предмети жана анын ыкмалары. Термодинамикалык система жана анын түрлөрү. Жумушчу тело жана тышкы чөйрө. Жылуулук жана жумуш. Жумушчу телонун абалынын параметрлери. Термодинамикалык процесс. Бирдей салмактуу жана бирдей салмактуу эмес процесстер. Кайра баштагы абалына келүүчү жана кайра баштагы абалына келбей турган процесстер. Идеалдуу газ. Иделдуу газ абалынын теңдемеси. Реалдуу (анык) газ. Реалдуу газ абалынын теңдемеси. Идеалдуу газдардын аралашмалары. Газ аралашмаларын берүүнүн жолдору. Аралашманын орточо молекулярдык массасын жана салыштырма газдын турактуулугун аныктоо. Парциалдык басымдар жана көлөмдөр.

***Глава 1. Техникалык термодинамика.***

***1.1. Предмет жана анын ыкмалары***

Техникалык термодинамика жылуулук жана механикалык энергиянын өз ара айлануу закон ченемдүүлүктөрүн үйрөтөт жана (жылуулук алмашуу теориясы менен бирге) жылуулук техникасынын теориялык фундаменти болуп эсептелет.

Техникалык термодинамика жогоруда аталып кеткен энергиялардын түрлөрүнүн өз ара айланууларына байланыштуу жылуулук кыймылдаткычтарынын жана башка өнөр жайлык установкалардын теориясынын негизи. Анын негизинде буу жана газ турбиналарынын, реактивдик жана ракеталык кыймылдаткычтардын, ДВС, ошондой эле түрдүү компрессордук машиналардын технологиялык жабдууларынын, кургаткыч жана муздаткыч установкалардын бардык жылуулук кыймылдаткычтарын эсептеп чыгуу жана долбоорлоо ишке ашырылат.

Ар түрдүү энергиялардын өз ара айлануу процессин үйрөнүү ыкмалары логикалык, статикалык феномен болушу ыктымал.

Биринчи учурда ал кубулуш макроскопикалык позиция аркылуу окулат б.а. ал заттын түзүмү жөнүндө моделдик элестетүүлөрдү талап кылбайт, жалпысынан кубулуш б.а. “феномен” окулат.

Экинчиси, статикалык ыкма молекулалык жана молекула ичиндеги процесстердин закон ченемдүүлүктөрүн үйрөнүүгө негизделген.

Термодинамикалык ыкма үчүн термодинамикалык процесстерди жана системаларды идеализациялоо мүнөздүү жана аларды карап чыгууну жөнөкөйлөтөт. Бир эле убакта идеалдуу процесс – бул чындыгында эле умтулууга зарыл болгон үлгү. Техникалык термодинамикада негизги термодинамикалык процесстердин жүрүшүнүн анык шарттары окулат. Мындайча кароо техникалык термодинамиканын теориялык жана практикалык (б.а. колдонмо) бөлүгүн, жылуулук кыймылдаткычтары, компрессорлор, казан установкалары менен байланыштыруучу звено болуп эсептелет.

***1.2. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар.***

***Термодинамикалык система (т.д.с.)***

Термодинамикалык система жөнүндө түшүнүк техникалык термодинамикадагы негизги түшүнүктөрдүн бири.

Термодинамикалык система – бул бири-бири менен жана системаны курчап турган тышкы телолор менен механикалык жана жылуулук өз ара аракеттенген материалдык телолордун жыйындысы.

Системага кирбеген телолор курчап турган ***чөйрө*** деп аталат.

***Жумушчу тело*** – бул анын жардамы менен жумуш жылуулукка жана техникалык орнотмолордо тескерисинче айланган физикалык тело.

Термодинамикалык системанын курчап турган чөйрө менен болгон өз ара аракеттешүүсү механикалык, жылуулук, химиялык, электрдик болушу мүмкүн жана ал кабыкчанын бетинин үстүндө (контролдук) же ал аркылуу болуп өтөт.

Системанын өзүнүн же системанын үстүндөгү механикалык өз ара аракеттешүүнүн натыйжасында жумуш аткарылат. Жумуш дайыма көлөмдүн өзгөрүүсү менен бирге аткарылат.

Техникалык термодинамикада механикалык жана жылуулук өз ара аракеттешүү гана каралат.

Жылуулук өз ара аракеттешүү – бул системанын айрым телолорунун ортосундагы жылуулуктун жүрүшү. Механикалык жана жылуулук өз ара аракеттешүүнүн натыйжасында курчап турган чөйрө менен болуп өткөн системанын абалынын үзгүлтүксүз өзгөрүүсү термодинамикалык процесс деп аталат. Термодинамикалык процесстер тең салмактык жана тең салмаксыз деп айырмаланышат.

*Тең салмактуу процесстер* деп системанын тең салмактуу абалынын удаалаш процесстери аталат (системанын бардык бөлүктөрү бирдей басым жана температурада болот).

Системанын тең салмак абалда болбогон реалдуу процесстери *тең салмаксыз процесстер* деп аталат.

Жумушчу телонун абалынын өзгөрүүсүнүн каалаган тең салмактык абалы дайыма термодинамикалык процесс болот. Тең салмаксыз абалдан өткөн каалаган термодинамикалык процесс кайра баштагы абалына келүүчү термодинамикалык процесс деп аталат.

Телонун абалын мүнөздөгөн физикалык чоңдуктар *абалдын параметрлери* деп аталат. *Абалдын негизги параметрлери* – бул абсолюттук басым, абсолюттук температура жана салыштырма көлөм.

***Басым*** – бул бир телонун молекулаларынын башка телонун аянтынын бирдигине карата перпендикулярдуу багытталган согуу күчтөрү. Басымдын Си-Паскаль системасындагы ченөө бирдиги

Басым атмосфералык, ашыкча басым жана абсолюттук болуп бөлүнөт, бирок абсолюттук басым гана абалдын параметри боло алат жана ал эсептөө жолу менен аныкталат.

***Абсолюттук басым*** – идиштин (сосуддун) ичиндеги газдын анык толук өндүрүлүшү. Эсептөө үчүн Рабс барометр менен өлчөнүүчү атмосфералык басымдын чоңдугун жана жабык идиштин (сосуд) ичиндеги газдын же суюктуктун басымынын чоңдугун билүү керек. Идиштин ичиндеги басымга жараша абсолюттук басым аныкталат:

* эгер идиштеги басым атмосфералыктан жогору болсо, ал ашыкча деп аталат жана манометр менен өлчөнөт, ал эми абсолюттук басым төмөндөгү формула менен аныкталат:
* эгер идиштеги басым атмосфералыктан төмөн болсо ал вакуумдук деп аталат жана вакууметр менен өлчөнүп төмөндөгү формула менен аныкталат:

**2. *Абсолюттук температура*** – бул молекулалардын интенсивдүү жылуулук кыймылынын өлчөмү жана ал телонун ысуу даражасын мүнөздөйт. Абсолюттук температуранын өлчөө бирдиги – Кельвиндин градусу жана ал мындай белгиленет Т, (0К). Абсолюттук температура бул оң чоңдук

Ал бул формула боюнча эсептөө жолу менен аныкталат:

Практикада Цельсия () градусунун температурасы кеңири колдонулат.

Телонун практикалык темепературасы ар түрдүү термометрлер (суюктук жана электрдик каршылык ) жана термопаралар менен өлчөнөт.

3. ***Салыштырма көлөм*** – бул заттын массасынын бирдигинин көлөмү.

Салыштырма көлөм чоңдугуна тескери пропорционалдуу – телонун тыгыздыгы:

Тыгыздык – бул көлөм бирдигиндеги заттын массасы.

***Глава 2. Идеалдуу газ. Идеалдуу газ абалынын теңдемеси.***

Абалдын жөнөкөйүрөөк теңдемеси – бул идеалдуу газ абалынын теңдемеси.

**Идеалдуу газ** деп молекулаларынын ортосундагы өзүнө тартуу жана кайра түртүү күчү жок болгон газдарды түшүнөбүз, ал эми молекулалардын массасы болот да, бирок көлөмү жок.

Абалдын параметрлери (P, T жана ) абалдын теңдемеси деп аталган өз ара функционалдык көз карандылык менен байланышкан:

Абалдын жалпы теңдемесинин жеке учуру болуп идеалдуу газ үчүн Клайперондун абалынын теңдемеси эсептелет:

Молекулярдуу массасы μ болгон М кг жана 1 кмоль идеалдуу газ үчүн Клайперондун теңдемеси бул түрдө жазыла

бул жерде Дж/кг·К0– жеке газдын турактуулугу:

Дж/кмоль·К0 – универсалдуу газдын турактуулугу. Жеке жана универсалдуу газдык абалдардын ортосундагы көз карандылык бул түрдө берилет:

бул жерде м3/кмоль– нормалдуу шарттардагы каалаган көлөм 1 кмоль; белги – телонун молекулярдык массасы. Төмөндө нормалдуу шарттар берилген:

Паи К0.

Клайперондун теңдемесинен көрүнүп тургандай басым температура менен жана салыштырма көлөм менен температура өз ара түз пропорциялдуу көз карандылыкта байланышкан:

ал эми басым жана көлөм бир-бирине тескери пропорциялдуу өзгөрөт:

***2.1. Реалдуу газ. Реалдуу газ абалынын теңдемеси***

Идеалдуу газдардан айырмаланып реалдуу газдарда молекулалар ортосунда өз ара аракеттешүү күчү (молекулалардын бир далай аралыкта болгондогу тартылуу күчү жана алардын бир-бирине жетишээрлик жакындаганындагы кайра түртүү күчү) болот. Молекулалардын ортосундагы өз ара аракеттешүү электромагниттик жана кванттык жаратылышка ээ. Реалдуу газдардын молекулаларынын ошондой эле өздүк көлөмү да ээ.

Реалдуу газдардын ар түрдүү касиеттерин практикалык эсептеп чыгууда катыш чоңдугу чоң мааниге ээ:

– кысылуу коэффициенти деп аталат.

- идеалдуу газдын кысылуу коэффициенти. Идеалдуу газдын жүрүм-турумунан реалдуу газдын жүрүм-турумундагы четтеп кетүүлөрдү кысылуу коэффициенти эсепке алат. Ал реалдуу газ үчүн системанын абалынан көз каранды.Кысылуу коэффициенти идеалдуу газ үчүн бирге барабар, ал эми реалдуу газ үчүн ал бирден кичине же бирден чоң болушу мүмкүн.

***Ван–дер–Ваальстын системасынын теңдемеси,*** бул жерде: а/ – газдын же суюктуктун ички басымын мүнөздөйт да молекулалар ортосундагы илинишүү күчтөрдүн натыйжасында пайда болот; – молекуланын чектүү көлөмүн эсепке алат жана 1 кг газды кысууга мүмкүн деп эсептелген пределдүү минималдуу көлөм.

***2.2. Идеалдуу газдардын аралашмалары. Газдардын аралашмаларын берүүнүн жолдору. Орточо молярдык массаны жана салыштырмалуу газдык турактуу аралашманы аныктоо. Парциалдык басымдар жана көлөмдөр.***

Жылуулук энергетикасында газдык аралашмалар көп колднулат. Мисалы, Д.В.С. цилиндлериндеги же буу казандарынын топкаларындагы отун күйгөндө ар түрдүү газдардын аралашмалары пайда болот. Ал аралашмаларга азот, СО2, күкүртүү газ, суунун буулары, кычкылтек жана башка газдар кирет.

Ошондой эле газ аралашмаларына азоттон жана кычкылтектен турган атмосфералык аба, ошондой эле курамдык бөлүгү ар кандай углеводдор (СН4, С2Н6, С3Н8 С4 Н10), жана Н2, болгон жаратылыш газы жана башка газдар кирет.

Ошондой болсо да газ аралашмасын түзгөн бул газдар (компоненттер) өз ара химиялык реакцияга киришпейт. Техникалык жылуулук динамикасы тарабынан мына так ушундай механикалык аралашмалар каралат, ошону менен бирге аралашманы түзгөн газдар идеалдуу деп эсептелет.

Газдардын аралашмалары деп химиялык жактан өз ара аракеттенишпеген бир нече газдын механикалык аралашмасын түшүнөбүз. Бардык газдар аралашмада жалпы температурага ээ. Ошону менен бирге газдын аралашмасын түзгөн газдардын ар бири аралашмада өзүн башка газ жоктой алып жүрөт б.а. аралашманын бүт көлөмү боюнча бирдей аралашат, идиштин капталдарына басым жасоо менен өз абалынын теңдемесине баш ийип жана парциалдуу деп аталат.

Мына ошентип аралашманын парциалдуу басымы жана температурасында айрым алынган газдын көлөмү аралашманын көлөмүнө барабар. Газдардын аралашмаларынын негизги закону – бул Дальтондун закону.

Аралашманын жалпы басымы аралашманы түзгөн газдын парциалдуу басымынын суммасына барабар.

Демек, эгер белги*–* аралашманын басымы*,* ал эми *–* айрым газдардын парциалдуу басымы болсо, анда

бул жерде *–* аралашманынбасымы*: –* газ аралашмасын түзгөн газдардын парциалдуу басымы;  *–* газдардын парциалдуу басымдарынын суммасы*.*

Газдардын аралашмалары массалык, көлөмдүк жана молдук бөлүктөр менен берилиши мүмкүн.

***Аралашманын массалык бөлүктөр менен берилиши.***

*–* аралашманын массасы болсо, анда аралашманы түзгөн айрым газдардын массасын тиешелүү түрдө төмөндөгүдөй белгилейбиз: .

Анда бүтүндөй аралашманын массасын төмөндөгүдөй аныктоого болот:

Эгер бул теңдеменин оң жана сол жагын бөлсөк, анда бул формула келип чыгат:

**Айрым газдын массасынын аралашманын массасына болгон катышы массалык бөлүк деп аталат жана менен белгиленет.**

Кайсы биргазы үчүн массалык бөлүктү аныктасак*,*

ал эми айрым газдардын массалык бөлүктөрү үчүн бул формула колдонулат:

Демек,

**Аралашманы түзгөн газдардын массалык бөлүктөрүнүн суммасы бирге барабар.**

***Аралашманын көлөмдүк бөлүктөр менен берилиши.***

Эгер аралашмадан бир эле газдан башка бардык газдар алынып салынса жана калтырылган газды өзгөрүлбөс температурада аралашманын басымына чейин кыссак, анда ал газды ээлеген көлөм *анын парциалдуу көлөмү* деп аталат.

***Парциалдуу көлөм*** *–* бул аралашманын басымына жана температурасына ээ болгон көлөм.

Эгераркылуу газ аралашмасына кирген газдардын парциалдуукөлөмүн белгилесек, анда аралашманын көлөмүн төмөндөгүдөй белгилесек болот:

*Газдын парциалдуу басымынын аралашманын жалпы көлөмүнө болгон катышы газдын көлөмдүк бөлүгү деп аталат жана аркылуу белгиленет.* ***i*** *газ үчүн көлөмдүк бөлүк:*

Айрым газдардын көлөмдүк бөлүктөрү:

Демек,

***Газ аралашмасын түзгөн газдардын көлөмдүк бөлүктөрүнүн суммасы бирге барабар.***

***Аралашманын молдук бөлүктөр менен берилиши.***

Бүтүндөй газ аралашмасынын киломолдордун саны айрым алынган газдардын киломолдорунун санынын суммасына барабар:

Айрым алынган газдын киломолдорунун санынын аралашманын киломолдорунун жалпы санына болгон катышы ***газдын молдук бөлүгү*** деп аталат.

Газдын молдук бөлүгү сан жагынан анын көлөмдүк бөлүгүнө барабар.

Басым жана температура бирдей болгондо бардык газдардын бир киломолунун көлөмү бирдей:

***Аралашманын орточо молекулярдык массасын жана салыштырма газдын турактуулугун аныктоо***

Жогоруда аныкталгандай, механикалык аралашмаларда айрым газдардын молекулалары химиялык бирикмеге кирбейт, ошондуктан аралашманын анык молярдык массасы жөнүндө айтууга болбойт. Мына ушунун натыйжасында анык аралашманы алмаштырган жана массасы боюнча бирдей, орточо молекулалардан турган элестетилген газдын молекулярдык массасы деп түшүнгөн аралашманын орточо (өңдөнүп көрүнгөн) молярдык массасы жөнүндө шарттуу түшүнүк киргизилет.

теңдемеси газдын көлөмдүк же молдук бөлүктөрү боюнча аралашманын орточо молярдык массасын аныктоо үчүн.

Эгер газ аралашмасы массалык бөлүктөр менен берилсе, анда анын өңдөнүп көрүнгөн орточо молекулярдык массасын бул формула боюнча аныктоого болот:

Газдардын аралашмаларынын газдын турактуулугун аралашмага киргенгаздардынтурактуулугунун айрым компоненттери же аралашманын өңдөнүп көрүнгөн молярдык массасы аркылуу берүүгө болот

Дж/(кг·К);

Дж/(кг·К).

***Парциалдуу басымдар жана көлөмдөр***

Парциалдуу басым, эгер аралашмага кирген атайын компоненттердин көлөмдүк бөлүктөрү белгилүү болсо, жөнөкөй эле аныкталат:

бул жерде – аралашмага кирген каалаган газдын парциалдуу басымы.

Эгер массалык бөлүктөрү белгилүү болсо, аралашмага кирген каалаган газдын парциалдуу басымы:

Аралашманын салыштырма көлөмү

м3/кг.

тескери чоңдук, ошондуктан аралашманын көлөмдүк курамы берилген.

Эгер массалык курамы белгилүү болсо, анда

м3/кг.

**Мисалы: N – варианттын акыркы санынын алдынкысы**

**Z – варианттын акыркы саны**

***Маселе 1.*** Идиштин ичиндеги газдын тыгыздыгы кандай өзгөрөт, эгерде туруктуу температурада манометрдин көрсөткүчү  **Рөз=10+5 Z бардан**  **Рөз=10+5N** **бар** болгондо? Чөйрөнүн басымы **Рбар** =**100,0 N** кПа.

***Маселе 2.*** Жабык идиштин ичиндеги басым төмөндөп вакууметрдин көрсөткөчү **Рвак=0,1+0,05N бар**. Барометрлик басым **Рбар= 690+3Z мм.сым.мам**. Абсолюттук басым эмне барабар?

***Маселе 3*.**Көлөмү **V=50 л** болгон челекте азоттун басымын аныктагыла, эгерде манометр боюнча басым **Рашык=10+5N бар**. Барометрдин көрсөткүчү **Рбар=700+3N мм.сым. мам** жана бөлмөдөгү температура **t= 20 + 10Z,0С.**

***Маселе 4*.** Тапкыла: Газ аралашма туруктуулугун,массалык курамын, парциалдык басымды, аралашманын массасын, эгерде ал **Р=10N бардын** ичиндеболгондо. Температура **t= 100+5N,0С**. Идиштин көлөмү **V = 10+5N л.**

Арлашманын көлөмдүк курнамынын үлүштүгүн табл.1. алгыла: **Z** барабар

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Курамы  Z | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| СО | 0.5 | 0.4 | - | - | - | 0.4 | 0.2 | - | 0.2 | - |
|  | 0.5 | 0.2 | 0.3 | - | - | 0.1 | - | - | 0.3 | 0.2 |
|  | - | - | 0.3 | 0.3 | - | - | 0.3 | - | - | 0.1 |
|  | - | - | 0.4 | 0.3 | 0.5 | - | - |  | 0.3 | 0.3 |
| O | - | - | - | 0.4 | 0.3 | - | - | 0.4 | - | - |
|  | - | 0.4 | - | - | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.2 | 0.4 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Акыркы сандын астындагы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

**Текшерүүчү суроолор**

1. Кандай параметрлер термикалык деп аталат, алар кантип аныкталат

жана алардын ченемдүүлүктөрү кандай?

1. Басым, температура жана көлөм өз ара кандай көз карандылыктарда

турат?

З. Кмоль деген эмне, анын ченем бирдиги кайсы? Азоттун же суутектин кмолунан эмне чоң жана эмне үчүн?

4. Жеке жана универсалдуу туруктуу газдын физикалык чындыгы, алардын ченемдүүлүктөрү жана өз ара байланыштары.

5. Кайсы газ идеалдуу деп аталат. Кандай шарттарда айрым реалдуу газдар өзүн идеалдуу катары алып жүрүшөт?

6. Кайсы газдар үчүн кысылуу коэффициенти z=1 болот жана эмне үчүн?

7. Газ аралашмасы деп эмнени айтабыз жана аралашманын курамы кандай берилет?

8. Газ аралашмасынын кайсы үлүштөрү бири-бирине сан жагынан барабар болушат?

9. Дальтондун законун түзгүлө.

10. Молекулярдык масса дегендерди жана газдын туруктуу аралашмасын кантип аныктоого болот?

11. Аралашмадагы анын компоненттери өздөрүн кандай алып жүрүшөт?

12. Шаардын жана айылдын абасы үчүн газдын туруктуулугу бирдей. Эмне үчүн?

13. Кайсы абсолюттук температурда абсолюттук басым

нолго барабар?

14.Идеалдык газдын тыгыздуулугун абсолюттук басымга жана температурага көз карандылыгын туюндургула?

15. Басымдын кандай түрлөрү бар?

16.Температура эмнени мөнүздөйт?

17. Эгерде челекти ачканда абсолюттук басым эмнеге барабар болот?

18. Температураны өлчөө үчүн кандай аспап колдонулат?

19. Идеалдык газдын басымы жана температура болгон көз карандылыгын чийгиле?

20. Басымды өлчөө үчүн кайсы аспап колдонулат?

***Глава 3. Жылуулук сыйымдуулук***

*Жылуулук берүү же алуу процесстериндеги нерселердин температурасын өзгөрткөн касиетин жылуулук сыйымдуулугу деп аталат (физикалык мааниси).*

*Жылуулук сыйымдуулуктун сандык мааниси - нерсенин температурасын 1 га же 1 ге көбөйтүү үчүн ага берилген жылуулуктун саны.*

*(Дж/оС).*

Жылуулук сыйымдуулук нерселердин физикалык касиети болгондуктан ал физикалык турактуу чоңдук. Жылуулук сыйымдулуктун жардамы менен жылуулуктун санын эсептеп алабыз.

деп эсептеп алынат.

Жылуулуктун санын эсептеп алыш үчүн салыштырма жылуулук сыйымдуулугу колдонулат. Анын үч түрү бар.

1. Массалык:
2. Көлөмдүк:).
3. Мольдук: .

Салыштырма жылуулук сыйымдуулуктардын ортосунда төмөнкү байланышты түзөт .

.

1. Эгерде газдын саны анын массасы (салмагы) менен берилсе, бир градуста 1кг газдын температурасын өлчөө үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны салыштырма массалуу жылуулук сыйымдуулугу деп аталат:

.

2. Эгерде газдын саны нормалдуу шарттагы көлөм менен берилсе, анда, бир градустагы 1 газдын температурасын өлчөө үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны салыштырмалуу көлөмдөгү жылуулук сыйымдуулугу деп аталат: .

3.Эгерде газдын саны анын кмолу менен берилсе, анда 1 градуста бир

кмольдун температурасын өлчөө үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны салыштырмалуу мольдук жылуулук сыйымдуулугу деп аталат:

мында =.

Жылуулук сыйымдуулугунун салыштырмалуу түрлөрү өз ара байланыштуу болот, муну менен кайсы бир жылуулук сыйымдуулугунун калган эки түрү аркылуу аныктап берүүгө мүмкүндүк түзүлөт:

; , бул жерде = 22,4 м3 нормалдуу шартта кандай газ болбосун, бир мольдогу көлөмү болуп саналат; 1 кмоль – бул кг менен берилген анын бирдей молекулярдык массадагы заттардын саны.

Газдын жылуулук сыйымдуулугу анын температурасына көз каранды болот, бирок бул орточо жана чыныгы жылуулук сыйымдуулугунда каралган.

Эгерде кандайдыр бир кубулушта заттардын санынын бирдигине келтирилген (же кетирилген) жылуулук саны *Qn t1* ден*t2* чейин температуранын өзгөрүүсүнө алып келсе, анда *Cm=Qn/(t1*-*t2)* ал орточо жылуулук сыйымдуулугу деп аталат жана ал төмөнкү формула боюнча аныкталат: .

Нөлгө умтулган температуралар ар башка болгондо, бул катыштын чеги чыныгы жылуулук сыйымдуулугу деп аталат: .

Кубулуштун мүнөзүнө жараша изобардык жана изохордук кубулуштарды айырмалап билишет:

а) изобардык кубулуштагы бир градустагы газдын температурасын өлчөө үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны изобардык жылуулук сыйымдуулугу деп аталат.

б) изохордук кубулуштагы бир градустагы газдын температурасын өлчөө үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны изохордук жылуулук сыйымдуулугу деп аталат.

Ошентип, изобардык жана изохордук жылуулук сыйымдуулуктары: массалык – жана ; көлөмдүк – жана мольдук – жана ; чыныгы жана орточо болот.

Изобардык жана изохордук жылуулук сыйымдуулуктардын ортосундагы өз ара байланышты Майердин теңдемеси көрсөтүп турат:

(массалык жылуулук сыйымдуулук үчүн);

(көлөмдүк жылуулук сыйымдуулук үчүн);

(мольдук жылуулук сыйымдуулук үчүн).

Ошондой эле адиабаттын көрсөткүчү же Пуассонун коэффициенти болгон K = да чоң мааниге ээ болуп саналат.

Газ аралашмасынын жылуулук сыйымдуулугу төмөнкү формула менен аныкталат:

массалык: ;

көлөмдүк:

мольдук:.

***Маселе 5.*** Кошулма көлөмдүн ичинде газдар белгилүү үлүштөрдө берилген: Н2О-20%, СО2-35%, N2-45%. Алар температура t=100+10Z,0С астында болушат. Басым P=const жана көлөм туруктуу болгондогу молярдык жана массалык жылуулук сыйымдуулуктарынын накта маанисин аныктагыла.

***Маселе 6.*** Кошулма массалык үлүш менен берилген СО2 -80%,О2-20%. Эгер температура t=400+10Z0С болгондо басым турактуу кезде Р=0,1МПа. Алардын накта молярдык, массалык жана көлөмдүк жылуулук сыйымдуулуктарын аныктагыла.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

**Текшерүүчү суроолор**

21. Жылуулук сыйымдуулугу деген эмне, сан жагынан ал эмнеге барабар?

22. Пайдалуу жылуулук сыйымдуулуктарынын кандай түрлөрүн билесиңер, алардын ченемдүүлүктөрү кандай?

23. Кайсы термодинамикалык процесстерде жылуулук сыйымдуулугу маанииге ээ жана алардын ортосунда өз ара байланыш барбы?

24. Кайсы процессте жылуулук сыйымдуулугу нөлгө барабар болот жана эмне үчүн?

25. Газдын жылуулук сыйымдуулугу ±∞ барабар боло алабы?

26. Кайсы жылуулук сыйымдуулугу чоңураак - изобардыкпы же изохордукпу жана эмне үчүн?

27. Бир эле жана ошол эле газдын сандык мааниси боюнча кайсынысы чоңураак, массалык изобардык жылуулук сыйымдуулугубу же молдук изохордук жылуулук сыйымдуулугубу?

28.Аралашманын массалык изобардык жылуулук сыйымдуулугун кантип аныктоого болот?

29 Изобардык жана изохордук процесстердеги телодо температуранын бирдей өзгөрүшү үчүн эмне үчүн ар башка сандагы жылуулукту өткөрүү зарыл болуп саналат?

30. Телонун жылуулук көлөмүн (физикалык касиети) изотермикалык жана адиабаттык кубулуштар үчүн тажрыйба жүзүндө аныктоо мүмкүн эмес?

***Глава 4. Термодинамиканын биринчи закону***

Термодинамиканын биринчи законунун мааниси. Ички энергия. Процессте аткарылган жумуш. Жумушчу Р-V диаграмма. Жылуулук. Жылуулуктун саны**.**. Жылуулук санын аныктоо. Энтальпия. Энтропия. Жылуулук T-S диаграмма. Термодинамиканынын биринчи законунун аналитикалык туюнтмасы жана аныктамасы. Газдын жылуулук сыйымдуулугу. Салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулуктардын түрлөрү. Изобардык, изохордук, анык жана орточо жылуулук сыйымдуулуктар. Газдардын аралашмасынын жылуулук сыйымдуулугу. Жылуулук санын аныктоо.

**Ички энергия, - U, Дж.**

1 кг газ үчүн саналган (эсептелген) ички энергияны салыштырма ички энергия дейт.

, Дж/кг: - ички энергиянын чексиз кичине өзгөрүшүсүнүн белгиси.

**Ички энергия** – деп нерселердин бардык молекуларынын жана атомдорунун баш аламан кыймылынын кинетикалык энергиясы менен баардык молекулалардын өз ара аракеттенүү күчтөрүнүн потенциалдык энергиясынын суммасына барабар.

(4.1.1)

**Идеалдуу газдардын ички энергиясы** депгаздардын молекуларынын кинетикалык энергиясы деп саналат. Ошондуктан: (4.1.2)

**Реалдуу газдардын ички энергиясына** *Eкин* тышкары молекулалардын өз ара аракеттенүү күчтөрүнүн потенциалдык энергиясы да кирет. Демек реалдуу газдардын ички энергиясы температурадан башка, газ ээлеген көлөмдөн же болбосо газдык басымынан дагы көз каранды.

(4.1.3)

**Ички энергия** (2.1.2) жана (2.1.3) көрсөткөндөй жалаң гана абал параметрлеринен көз каранды болгондуктан өзү да абал параметри деп эсептелинет. Газдын абалы өзгөрсө – анын ички энергиясы да өзгөрөт. Демек, газдын ар бир абалында өзүнө татыктуу жалпы сандын чени.

Энергиянын термодинамикалык түшүнүгүн ички энергия берет . Ички энергиянын белгиси – U, бирдиги – Дж. Бир кг нерсенин ички энергиясы – салыштырма ички энергия деп аталат, белгиси - u, бирдиги - Дж/кг:

u=U/M, (Дж/кг).

Нерселердин ички энергиясы бардык молекулалардын (же атомдорунун) баш аламан кыймылынын кинетикалык энергиясы менен жана бардык молекулалардын өз ара аракеттенүү потенциалдык энергиясынын суммасына барабар.

(4.1.4)

Молекулалардын кинетикалык энергиясы түздөн түз температурадан көз каранды. Температура өскөн сайын энергия да өсөт.

(4.1.5)

Потенциалдык энергиясынын мааниси молекулалардын ортосундагы орточо аралыгынан көз каранды, башкача айтканда газ ээлеген көлөмдөн, же газдын басымынан көз каранды.

(4.1.6)

(2.1.4) жана (2.1.5) көрсөткөндөй ички энергия жалаң гана абал параметрлеринен көз карандылыгынан өзү дагы абал параметрлери деп эсептелет.

Р Газдын абалы өзгөрсө – ички энергия

1 а да өзгөрөт. Демек, газдын ар бир абалында

в өзүнө татыктуу болгон ички энергиясы бар.

Мисалы, газ 1чи абалдан 2чи абалга

с которулат. 1чи абалдан газ U1 деген ички

2 энергияга ээ; 2чи абалда газдын ички

V

энергиясы U2. 1-2 процессиндеги ички энергиянын өзгөрүшү. U2 –U1 ге барабар болот. Ички энергиясынын өзгөрүшү 1-2 процессинин жолунан көз каранды эмес.

Демек, - ички энергияны элементардык өзгөрүшү болсо анда аны:

(2.1.7) деп көрсөтсөк болот.

Идеалдуу газдардын ички энергиясы температурадан гана көз каранды. Себеби идеалдуу газдардын молекулалары өз ара аракеттенбейт. Ошол үчүн идеалдуу газдар кинетикалык гана энергияга ээ болушат. Реалдуу газдардын молекулалары өз ара аракеттенгендигинен реалдуу газдар кинетикалык жана потециалдык энергияга ээ.

Термодинамикалык маселелерде процесстердеги ички энергиянын өзгөрүшүнө чоң маани берилет. Нерселердин температурасы болсо, анда ички энергия 0 го барабар болот.

***4.1. Процессте аткарылган жумуш. Жумушчу Р-V диаграмма.***

Термодинамикалык процесстерге катышкан нерселер бири-бири менен энергиялары менен алмашып турат. Энергия бир нерседен башка нерсеге 2 жол менен өткөрүп берилет.

Эгерде, кандайдыр процессте эки нерсе бири-бирининин ички энергиялары менен алмашса жана ошол убакытта нерселердин сырттык параметрлери (көлөмү же басымы) өзгөрсө, анда ошол процесс энергияны жумуш формасындагы өткөрүп берүү процесси деп эсептелет. Ушундай процесстеги өткөрүп берилген энергиянын саны – жумуш деп аталат.

Демек, термодинамикадагы жумуш – термодинамикалык системанын (физикалык нерсенин) сырттык параметрлери өзгөргөндө анын айланасындагы нерселерге берилген энергиясы.

Термодинамикалык жумуш – механикалык жумуштай эле, энергия алмашуу процессинин учурунда физикалык нерсенин (газ же буу) которулган күч аракетинин чени.

Жумуштун белгиси L, бирдиги Дж = 1 Н·м (1 Н күчтүн 1 м аралыкка жылдырганда аткарылган жумушу 1 Дж га барабар).

Салыштырма жумуш , Дж/кг

- элементардык жумуш.

а) Кандайдыр процессте термодинамикалык системанын көлөмү өзгөрүп, анда ошол процесстеги аткарылган элементардык жумушту төмөнкү формула менен эсептеп алса болот.

Термодинамиканын системанын көлөмү кеңейгенинин натыйжасында жасалган жумуш кеңейүү жумушу деп аталат.

Эгерде, анда , кеңейүү процессинде термодинамикалык система аткарган жумуш – оң жумуш деп эсептелет (+, демек, жумушту система өзү аткарат.

Эгерде, анда , жумушту система өзү аткарбайт. Бул жумуш терс жумуш деп эсептелет. Системанын үстүнөн тышкы күчтөр жумушту аткарат. Бул жумуш кысылуу жумушу деп аталат.

б) Термодинамикалык система курчап турган чөйрө менен өз ара аракеттенүү процессинин натыйжасында басым өзгөрсө, анда аткарылган жумуш – пайдалуу жумуш , же жайгаштырылган деп аталат жана төмөнкү формула менен эсептеп алса болот.

=

Термодинамикалык жумушту графикалык метод менен да аныктаса болот. Ал үчүн PV диаграммасын колдонот.

Ар кандай термодинамикалык тең абалдуу процессти PV диаграммасында көрсөтүү болот.

P 1

P2

L1-2

2

L

V1 V2 V

Мында элементардык система аткарган кеңейүү жумушту 1-2 сызыктын алдындагы нин аянты менен эсептелет. Техникалык (жайгаштырылган) жумуш 1 2нин аянты менен эсептелет. Термодинамикалык жумуш процесстин мүнөзүнөн көз каранды.

***4.2. Жылуулук. Жылуулуктун саны***

Ар башка температурага ээ болгон 2 нерсе бири-бирине тийишип турса, ысык нерсенин молекулалары муздак нерсенин молекулаларына урунган учуру өзүнүн ички энергиясын өткөрүп берет. Ошол процесстеги бир нерседен экинчи нерсеге өткөрүп берилген энергияны жылуулук же жылуулуктун саныдеп аташат.

*Демек, процесстин жылуулугу – бул эки нерсенин өз ара аракеттенүүсүнүн натыйжасындагы бир нерседен экинчи нерсеге өткөрүп берилген энергиясы.* Жылуулуктун саны жалан гана өз ара аракеттенген нерселердин температурасынан көз каранды.

Ар кандай процесстерде ар кандай жылуулуктун саны өткөрүп берилет. Ошондуктан жылуулук термодинамикалык процесстерден да көз каранды.

Жылуулуктун белгиси – Q, бирдиги – Дж;

Салыштырма жылуулук; dq= , (Дж/кг)

dq- элементардык жылуулук.

Эгерде термодинамикалык системага жылуулук берилсе, ал жылуулук оң деп саналат (+q), бирок, системадан алынган жылуулук терс жылуулук деп аталат.

***4.3. Термодинамиканын биринчи закону***

Жылуулук, ички энергия жана жумуш өз арасына белгилүү байланышты түзөт. Ал байланыш термодинамикалык системалар үчүн энергияны сактоо мыйзамы:

Бул мыйзамды төмөнкүдөй айтса болот:

*Термодинамикалык системага берилген жылуулук системанын ички энергиясынын өзгөрүлүшүнө жана жумуш аткарууга жумшалат.*

Кандайдыр 1-2 деген термодинамикалык процесс үчүн термодинамиканын биринчи мыйзамы деп жазат:

.

Термодинамиканын биринчи законунун анализи:

1. Изобардык процес: , демек .

.

Изобардык процессте нерсеге берилген жылуулуктун баары энтальпиянын өзгөргөнүнө жумшалат.

2. Изохордук процесс: , анда

3. Изотермикалык процесс: , , демек

.

.

Изотермикалык процессте нерсеге берилген жылуулук басымдын өзгөрүү жумушуна жумшалат.

4. Адиабаттык процесс. .

, анда .

Адиабаттык процессте басымдын өзгөрүү жумушу энтальпиянын өзгөрүшүнө барабар.

***4.4. Жылуулукту аныктоо. Энтальпия. Энтропия***

Жылуулуктун санын эч кандай приборлор менен ченеп аныктабайт. Жылуулуктун санын эсеп менен гана аныктайт.

Электр ысыткыч бөлүп чыгарган жылуулуктун санын Джоуль – Ленцтин мыйзамы менен эсептеп алса болот.

Жылуулукту аныктоо үчүн энтальпия жана энтропия колдонулат.

**Энтальпия** – белгиси Н, бирдиги - Дж – h – салыштырма энтальпия;

*.*

Термодинамикалык системанын басымынын жана көлөмүнүн чыгармасынын ички энергиясынын суммасына барабар болгон чоңдугу энтальпия деп аталат. Энтальпияга кирген чоңдуктар абал параметрлери болгондуктан энтальпия өзү дагы абал параметри деп саналат.

Энтальпиянын физикалык мааниси – толук энергия кармоо. тендемедеги PV – тышкы басым менен кысылган системанын потенциалдуу энергиясы.

**Энтропия** – абал параметри. Энтропиянын белгиси S, бирдиги, Дж/К салыштырма энтропия:

*T*

*2*

*1*

*dQ*

*S1 S2 S*

Энтропия төмөнкү формула менен аныкталат:

эгерде dQ>0, анда dS>0

эгерде dQ<0, анда dS<0

h жана S учурда 0 барабар болот. h жана S абал параметрлери болгондуктан алардын жардамы менен (T,S), (h,S) деген диаграммалар түзүлгөн. Ал диаграммаларды колдонуп жылуулуктун санын эсептеп алса болот.

Энтальпиянын өзгөрүүшүсү аркылуу термодинамиканын биринчи закону.

Термодинамиканын биринчи закону дифференциалдуу түрдө

Белгилүү тендемеден

*Pd* нын маанисин чыгарабыз:

Тендемесин киргизебиз:

бирок , анда (1) тендеменин акыркы көрүнүшү төмөнкүдөй болот: термодинамиканын биринчи закону бул жерде - элементардык келтирилген жумуш, же болбосо басымдын өзгөрүү жумушу.

***Маселе 7.*** Массасы М=1,5 кг газ кыймылга келүүчү поршени бар жумуру идиштин ичинде. Газга сырттан Q= 20Z к Дж, жылуулук берилет, ал L=26 N кДж жумуш аткарат. Газдын ички салыштырма энергиясынын өзгөрүүсүн аныктагыла.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Акыркы сандын астындагы саны | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |

**Текшерүүчү суроолор**

31. Жумушчу телонун ички энергиясы деген эмне?

32. Ички энергиянын касиеттери жана эсептөө формулалары?

33.Жылуулук жана жумуш үчүн “+” жана “-” белгилери эмнени билдирет?

34. Жумушчу телонун энтальпиясы деген эмне?

35. Жылуулук деп эмнени айтабыз?

36. Энтальпиянын касиеттери жана эсептөө формулалары?

37.Техникалык термодинамикадагы жылуулук жана жумуш түшүнүктөрүнө аныктама бергиле ?

38.Жылуулук жана жумуштун физикалык маанилерин түшүндүргүлө?.

39. Жабык жана ачык оболочкалар үчүн термодинамиканын биринчи законунун теңдемесине кирген чоңдуктардын физикалык мааниси кандай?

40.Термодинакиканын биринчи законунун аналитикалык мааниси жана формулировкасы кандай?

***Глава 5. Термодинамикалык процесстер***

***5.1. Термодинамикалык процесстер***

Изохордук, изобардык, изотермикалык, адиабаттык, политроптук термодинамикалык процесстерди изилдөө жана анализдөө. процесстерди

P-V, T-S- диаграммаларда көрсөтүү.

Техникалык термодинамикада төмөндөгү негизги термодинамикалык процесстер окутулат жана жылуулук техникасында алар маанилүү болуп эсептелет: изохордук, изобардык, изотермикалык, изотермикалык, адиабаттык жана политроптук процесстер.

Термодинамикалык процесстерди изилдөөнүн максаты – бул процесстерди мүнөздөй турган көз карандылыктарды жана чоңдуктарды табуу:

1) P-V жана T-S процессиндеги теңдеме чыгарылат:

а) бул процесстеги жумушчу телонун баштапкы жана акыркы параметрлеринин ортосундагы байланыш аныкталат.

2) Өзүнчө параметрлердин ортосундагы аналитикалык өз ара байланыштар аныкталат:

3) Газдын көлөмүнүн өзгөрүү жумушу эсептелип чыгат.

4) Жумушчу телонун ички энергиясынын өзгөрүүсү аныкталат.

5) Процесстер газдан келген (же чыгарылган) жылуулук санды аныкташат:

6) Жумушчу телонун энтальпиясынын жана энтропиясынын өзгөрүүсү аныкталат.

***5.2. Изохордук процессти изилдөө***

Дайыма туруктуу көлөмдө агып турган процесс изохордук процесс деп аталат*.* Ийриси изохордук деп аталат. Бул процессте туруктуу сандагы газдын же туюк мейкиндиктеги буунун жылышы же муздашы жүрүп турат.

1. V=const изохордук теңдемеси (1).

Бардык абалдагы идеалдык газ үчүн PV=RT теңдемеси туура болуп саналат, бул жерде .

Каралып жаткан изохордук процессте болгондуктан, бул процесстеги идеалдуу газдын басымы анын абсолюттук (эң жогорку) температурасына түз пропорционалдуу.

2. 1- жана 2-изохордук процесс үчүн бул формуланы параметрлердин өз ара катышы катары төмөндөгүдөй жазууга болот:

(Шарльдын закону) (2).

3. Изохордук процесстеги кеңейүү жумушу:

d=0; барабар. (3)

1. болгондо 1- жана 2-процесстердеги жумушчу телого келтирилген жылуулуктун саны

менен аныкталат. (4)

Өзгөрүлмө жылуулук көлөмү үчүн:

(5),

бул жерде чейинки температуранын аралыгындагы орточо массанын изохордук жылуулук көлөмү болуп эсептелет.

5. Изохордук процессте кеңейүү жумушу барабар болсо, анда: .

Ички энергиянын өзгөрүүсү ;

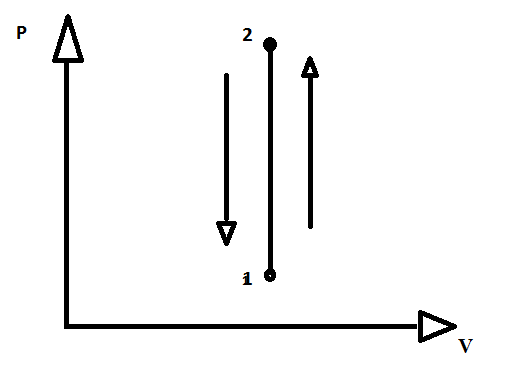
(6)

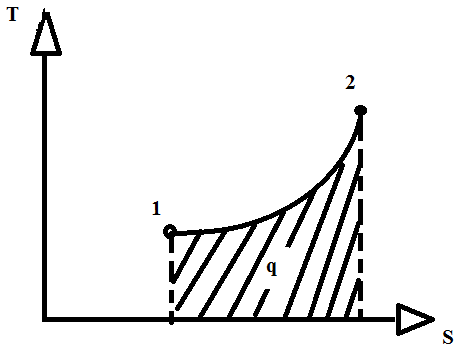
6. Изохордук процесстеги энтропиянын өзгөрүүсү төмөнкү формула боюнча аныкталат:

(7)

7. Формула боюнча процесстеги энтальпиянын өзгөрүүсү идеалдуу газдын бардык процесстери үчүн:

8. Изохордук процессти P-V жана T-S диаграммаларында көрсөтүү:





***5.3. Изобардык процессти изилдөө***

1. Дайыма туруктуу басым алдындагы процесс изобардык процесс деп аталат*,* ал эми процессти чагылдырган ийри изобара деп аталат.

Изобардык процесстин теңдемеси: P=const (1)

Карала турган жана идеалдуу газдын = абалындагы теңдемесине ылайык, биз изобардык процесстеги идеалдуу газдын пайдалуу көлөмү анын абсолюттук температурасына түз пропорционалдуу деп алабыз.

2. (Гей-Люссактын закону)

3. процессиндеги жумуш төмөнкү формула менен аныкталат:

бул жерде же болсо,

анда болот. (3)

4. Газга берилүүчү жылуулук санын төмөнкү теңдеме менен табабыз:

(4)

бул жерде ден чейинки температуранын аралыгындагы орточо массанын изобардык жылуулук сыйымдуулугу болуп эсептелет.

(5)

болгондо

(6)

5. Ички энергиянын өзгөрүүсү:

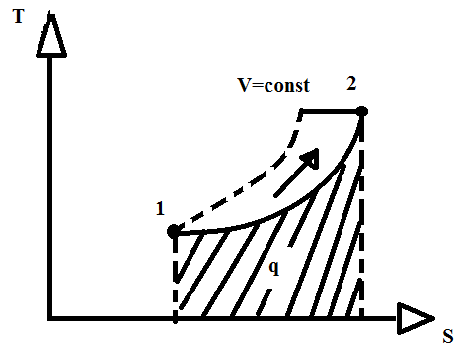
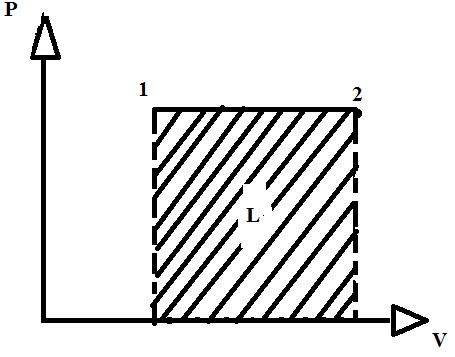
6. Энтропиянын өзгөрүүсү болгондо

барабар,

башкача айтканда, энтропиянын температуралык көз карандылыгы болгондо, ал да логарифмикалык мүнөзгө ээ деп эсептелет, бирок изобары T-S диаграммасында изохорго караганда көлөмдүүрөк болот.

7. Энтальпиянын өзгөрүүсү болгон учурда төмөнкү формула боюнча аныкталат:

8. Изобардык процесстин P-V жана T-S диаграммаларында көрсөтүлүшү:



***5.4. Изотермикалык процессти изилдөө***

*Жумушчу телонун температурасы өзгөрүлбөсө, ал изотермикалык процесс,* ал эми бул процесстин ийриси изотерма деп аталат.

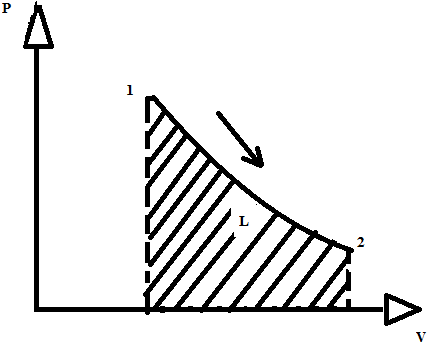
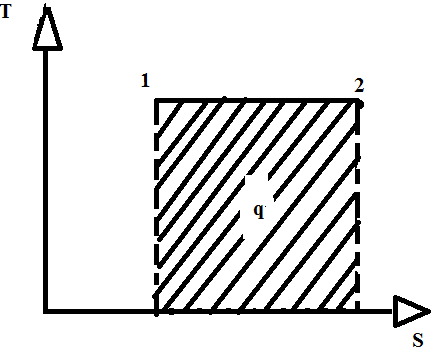
1. Изотерманын теңдемеси: (1)

мына ушуга ылайык

жана болгондо, башкача айтканда изотермикалык процесстеги идеалдуу газдын басымы анын пайдалуу көлөмүнө тескери (кайра) пропорционалдуу болот.

2. (Бойль-Марриоттун закону) (2)

3. координаттарында изотермикалык процесстин графиги тең капталдуу гипербола түрүндө болот.

4. Процесстин жумушун жалпы түрүндө алып, катары беребиз, ага ылайык:

,

болот

5 болгондуктан, мына ушуга ылайык бул процесстеги идеалдуу газдын ички энергиясы туруктуу бойдон калат (U=const), ал эми U== 0 алынган бардык жылуулук кеңейүү жумушуна айланат:

Изотермикалык кысуу учурунда газдан жылуулук бөлүнүп чыгат, анын саны кысуу жумушуна коротулган көлөмгө барабар.

6. Газдын энтальпиясы T=const болгондо өзгөрүүгө учурабайт:

7.T=const болгондо процесстеги энтропиянын өзгөрүүсү төмөндөгү формула менен аныкталат:

8. Изотермикалык процесске катышкан жылуулук

***5.5. Адиабаталык процессти изилдөө***

Курчап турган чөйрө менен жылуулук алмашуусуз өткөн процесс адиабаталык процесс деп аталат, ал процесстин ийриси адиабат.

Адиабаталык процессте аныкталган боюнча .

Карала турган адиабаталык процессти эң жогорку жылуулук өткөрүүчү дубалы бар цилиндрде ишке ашырууга болот.

1. Төмөндө адиабаталык теңдеме берилген;

термодинамиканын биринчи законунун теңдемесинен төмөндөгүлөр келип чыгат:

1 теңдемени 2 теңдемеге бөлөбүз:

1) экенин билип туруп, муну биз түрүндө жазабыз.

2) *к –* адиабаттардын көрсөткүчү.

3) теңдеменин эки бөлүгүн тең P- га бөлөбүз.

Акыркы формуланы протигрелдештиребиз.

Потенциалдаштыруунун негизинде төмөнкүнү алабыз:

жана = же

– бул теңдеме адиабаттык көрсөткүч.

2. Параметрлердин ортосундагы катыш:

адиабаталык теңдемесинен жана белгилүү болот.

Эгерде телонун параметрлеринин бул катышын процесстин эң акыркы чекитиндеги абалда турган теңдемеге койсок, анда туюнтмасын алабыз, андай болгон соң тиешелүү кайра түзүүлөрдөн кийин төмөнкү теңдемелер келип чыгат:

1.

2.

Алынган тендемелер туруктуу жылуулук сыйымдуулугу учурунда туура деп эсептелет. Газдан алынган адиабаталык теңдемелердин жылуулук сыйымдуулугу өзгөрүлмөлүү болсо, ал теңдемелер өтө татаал болот, ошондуктан биз азыр аларды карабайбыз.

3. Адиабаталык процессте болгондуктан, адиабаталык процесстеги жумуш тескери белгиси бар ички энергиянын өзгөрүүсүнүн эсебинен ишке ашат. Мындан төмөнкүдөй жыйынтык чыгарабыз: адиабаталык процессте пайдалуу жумуш, тактап айтканда, кеңейүү жумушу ички энергиянын азайышынын эсебинен өтөт, ал эми тескери жумуш, башкача айтканда, кысылуу жумушу ички энергиянын көбөйүшүнүн эсебинен ишке ашат.

Адиабаталык процесстеги ички энергиянын өзгөрүүсү менен бирге жумушчу телонун температурасы да өзгөрөт. Газдын же буунун кеңейиши менен температура төмөндөйт, ал эми кысылууда, тескерисинче жогорулайт. Чындыгында эле:

;

анда

Эгер анда болот.

4. Адиабаталык процесстеги жумуш:

*;*

адиабаталык газ үчүн, ага ылайык

анткени , анда болот.

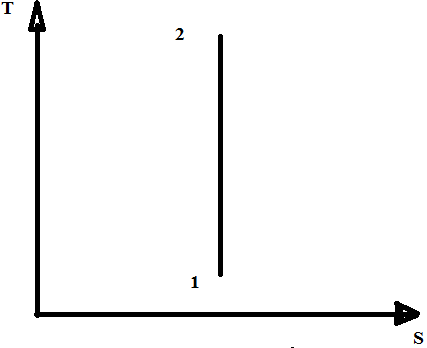
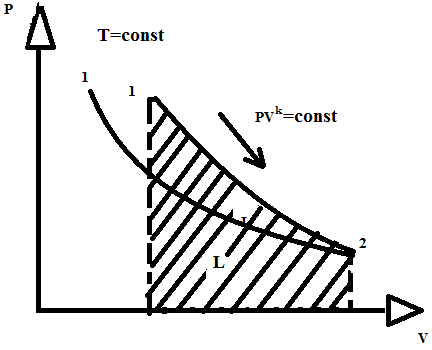
Анткени, ал эми анда

болот.

5. Бул берилген процессте курчаган чөйрө менен жумушчу телонун жылуулук алмашуусу болбойт, ошондуктан деп берилгенде адиабаттык процесстеги жылуулук сыйымдуулугу нөлгө барабар.

6. Адиабаталык процессте болгондуктан, жумушчу телонун энтропиясы өзгөрбөйт

7. Адиабаталык процесстерди жана T-S диаграммаларында көрсөтүү:



***5.6. Политроптук процессти изилдөө***

1. *Туруктуу жылуулук сыйымдуулукта, жумушчу телого жылуулук алып келүүчү же андан алып кетүүчү процесс* ***политроптук процесс***, ал эми процесстин ийриси **политроп** деп аталат.

2. теңдемеси менен берилген процесс **политроптук** деп аталат. Бул жерде политроптун көрсөткүчү , ал бардык сандык маанини кабыл ала алат, бирок бул процесс үчүн туруктуу чоңдук болуп саналат. Политроптук процессти аныктоодон негизги термодинамикалык процесстерге кирген изобардык, изохордук, изотермикалык жана адиабаттык процесс келип чыгат. Эгерде жылуулук сыйымдуулук туруктуу бойдон калса, анда алар көп учурай турган процесстер болуп эсептелет.

**Политроп теңдемесинин корутундусу:**

Политроптук процесске катыша турган жылуулук санынын акыркы жана баштапкы абалдарын ге ар башка температурадагы жылуулук сыйымдуулуктагы процесстин пайда болуусу менен түшүндүрүүгө болот:

.

Политроптун теңдемесин термодинамиканын биринчи законунун негизинде чыгарабыз: ;

биринчи теңдемени экинчи теңдемеге бөлөбүз: белгилеп, андан политроптун көрсөткүчүн табабыз: .

1. Кемитүүчүдөн кутулабыз жана теңдеменин эки бөлүгүн тең га бөлөбүз, андан теңдемесин алабыз. Келип чыккан теңдемени проинтегрелдештиребиз жана андан

алабыз,

аны потенциалдаштырабыз же

бул жерде: политроптун көрсөткүчү болуп эсептелет.

Мурунку каралган процесстер политроптук процесстин белгилүү маанилеринде көп кездеше турган процесстер болуп эсептелет.

а) Эгерде болсо, анда политроптук теңдеме адиабаттык процесстин теңдемеси, адиабаттык процесс.

б) болгондо, ны алабыз, бул изотермикалык процесстин теңдемеси болот.

в) болгондо, ты алабыз, бирок болгондуктан, айныксыз түрдө ны алабыз. Бул теңдеме изобардык процесстин теңдемеси.

г) болгондо, политроптун теңдемеси теңдемесине кайрылат. Башкача айтканда, изохордук процесстин теңдемесин далилдеш үчүн теңдемесинин эки бөлүгүнөн тең баскычындагы тамырды алып салуу керек жана андан алынат, ал эми болгондуктан, анын мааниси политроптун теңдемесине коюу менен ны алабыз, бирок го барабар болгондуктан, ага ылайык ны алабыз. Жогоруда көрүнүп тургандай, негизги төрт термодинамикалык процесстин баары тең теңдемеси менен жалпылаштырылат.

2. Политроптун теңдемеси адиабаттын теңдемесинен политроптук көрсөткүчтүн чоңдугу боюнча гана айырмалангандыктан, параметрлердин ортосундагы бардык катыштар адиабаттык процессте окшош формулалар менен берилиши мүмкүн:

.

3. Политроптук процесстеги көлөмдүн өзгөрүү жумушунун теңдемеси адиабаттык газ үчүн адиабат процессиндеги жумуштун теңдемеси менен окшош көрүнүшкө ээ деп эсептелет:

Чыныгы газ үчүн көлөмдүн өзгөрүү жумушу төмөнкүдөй кабыл алынат:

4. 1- жана 2-процесске келтирилген же андан алынган жылуулуктун санын төмөндөгүдөй аныктоого болот: политроптук процесстеги жылуулуктун көрсөткүчү ;

бул түшүнүктү кемитүүсүз жазабыз: кашааны ачабыз жана ушул сыяктууларды келтиребиз:

маанисин коёбуз жана андан алабыз, бул жактан төмөндөгүнү беребиз:  – бул политроптук процесстеги идеалдуу газдын жылуулук сыйымдуулугу болот.

5.Энтропиянын өзгөрүүсү

6. Политроптук процесс жалпылагыч мааниге ээ, бул негизги термодинамикалык процесстердин жыйындысын камтып тургандыгына байланыштуу. Мындан төмөнкү туюнтмаларды белгилүү болот: изохордук процесс үчүн

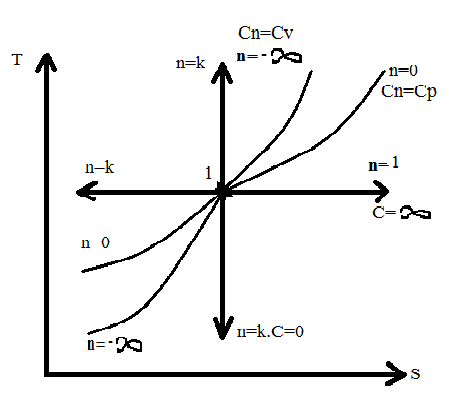
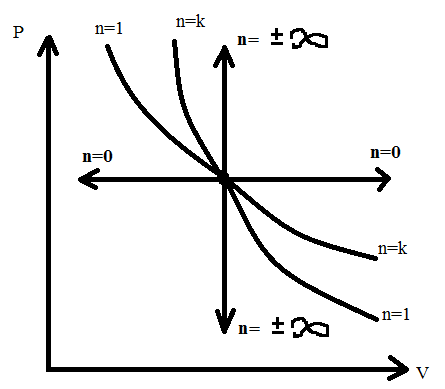
изобардык процесс үчүн

изотермикалык процесс үчүн

болгондуктан, бөлчөктүн ар бир мүчөсүн бөлүп чыгабыз.

адиабаталык процесс үчүн

Политроптук процесстин графикалык сүрөттөлүшү, анын ичинде изобардык, изохордук, изотермикалык, адиабаталык процесстер РVдиаграммаларында берилген. Бардык процесстер 1-чекиттен башталат.

**

***Маселе 8.*** Массасы M кг болгон баштапкы басымы P1  жана темературасы t1 болгондо политропттук процесстин көрсөткүчү n ден басымы P2 (же температурсы t2) болгондо өзүнүн абалын өзгөртөт.Газ идеалдуу деп эсептеп жетишпеген. Баштапкы жана акыркы чен сандарын, аткарган ишинин чоңдугун, берилген жылуулуктун чоңдугун, ошондой эле ички энергиянын өзгөрүшүн, энтальпиясын жана энтропиясын эсептелиле.

P-V жана T-S көз карандылын түзгүлө. Маселени чыгаруу үчүн сандын маанилерин табл.4 алгыла

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Газ | Политроп көрсөткүчү | Алгачкы мааниси | | Акыркы  мааниси | | Z | Газдын саны М, кг |
| Р1, MПа | t1, 0С | Р2, МПа | t2,0С |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Суутек Н2 | 1 | 0,1 | 30 | 1 | - | 1 | 3 |
| 2 | Аба | 1,4 | 0,2 | 16 | 0,8 | - | 2 | 4 |
| 3 | Азот N2 | 1,3 | 0,4 | 27 | 0,9 | - | 3 | 1 |
| 4 | Күкүрт газы SO2 | 0 | 0,5 | 280 | - | 70 | 4 | 2 |
| 5 | Кычкылтек О2 | 1,1 | 0,09 | 17 | - | 130 | 5 | 5 |
| 6 | Көмүр кычкыл газы СО2 | 1,29 | 3,0 | 43 | 0,5 | - | 6 | 1,6 |
| 7 | Суу буусу Н2О | ∞ | 1,0 | 300 | - | 100 | 7 | 8 |
| 8 | Азот N2 | 0,9 | 1,1 | 70 | 0,2 | - | 8 | 7 |
| 9 | Аба | 1,2 | 0,6 | 120 | - | 30 | 9 | 6 |
| 0 | Кычкылтек О2 | 0,8 | 0,8 | 60 | 0,1 | - | 0 | 10 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |

**Текшерүүчү суроолор**

41. Негизги термодинамикалык процесстерге аныктама бергиле?

42. диаграммасынан: изохорду, изобарды, изотерманы, адиабатты көрсөткүлө жана алардын теңдемелерин жазгыла.

43. диаграммасынан кайсы процесс үчүн телого берилген жылуулукту графикалык түрдө аныктоого болот?

44. диаграммасынан кайсы процесс үчүн ички энергиянын өзгөрүүсүн графикалык түрдө аныктоого болот?

45. Кайсы процессте сыйымдуулукту өзгөртүү жумушу басымды өзгөртүү жумушуна барабар болот?

46. Кайсы термодинамикалык процесс болбосун, телодогу ички энергиянын өзгөрүүсүн кантип аныктоого болот?

47. Кайсы термодинамикалык процесс болбосун, телодогу ички энтальпиянын өзгөрүүсүн кантип аныктоого болот?

48. Изобардык жана изохордук процесстердеги телодо температуранын бирдей өзгөрүшү үчүн эмне үчүн ар башка сандагы жылуулукту өткөрүү зарыл болуп саналат?

49. Адиабаттын диаграммасында эмне үчүн изотерма күчтүү?

50. Бардык термодинамикалык процесстердеги энтропиянын өзгөрүүсүн кантип аныктоого болот?

51. Кандай процесс политроптук деп аталат?

52. Кандай шарттарда негизги процесстер политроптук боло алат?

***6. Глава. Реалдуу газдар жана суу буусу***

Суу буусу. Фаза. Фазалык өтүштөрдү фазалык Р-Т диаграммада көрсөтүү. Буулануу (конденсация) кубулуштарын Р-Т, Р-V, T-S диаграммада көрсөтүү. Суу жана суу буусунун термодинамикалык таблицалары. Суу буусунун термодинамикалык процесстерин таблицалардын жана h-S диаграмманын жардамы менен аныктоо.

***6.1. Фаза. Фазалык өткөрүү. Заттардын физикалык абалдары***

Жаратылыштагы заттар үч түрдүү абалда (фазада) болушу мүмкүн: катуу абалда, суюк абалда, газ түрүндө. Бирок заттар кайсы абалда болбосун алар түбөлүктүү кыймылдуу майда бөлүктөрдөн турушат: молекулалардан, атомдордон ж.б.у.с., бири-бири менен күчтөр аркылуу (тартылуу, түртүлүү) байланышкан өз ара кыймыл-аракеттер.

**Каттуу заттардагы** тартылуу күчтөрү ушунчалык күчтүү болгондуктан, алар өз формаларын жакшы сактай алат, аларды бузуу үчүн чоӊ көлөмдөгү күчтү сарптоо керек.

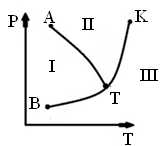
**Суюк абалындагы телолордо** бөлүкчөлөрдүн ортосундагы тартылуу күчү катуу телолордукунан азыраак болот. Суюктуктар өз формаларын сактай алышпайт, ошондуктан алар кандай идиште турса, ошол идиштин формасында болушат.

**Буу түрүндөгү телолордо** нерселердин бөлүкчөлөрүнүн ортосундагы аралыктар суюк же катуу телолордукуна караганда чоңураак болот.

**Фаза** – агрегаттык абалдар менен өз-өзүнчө дал келүүчү, бирок өтө тар түшүнүк болуп саналат, мисалы: катуу абалдагы графитте, алмазда углеводдун (көмүртектин) бир нече фазасы болушу мүмкүн. Заттардын бир фазадан экинчи фазага өтүүсү **фазалык өткөрүү деп аталат.** Ар түрдүү абалдагы заттар ар кандай физикалык абалга, көбүнчө жыштыкка ээ болушат. Бул айырмачылык молекулалардын ортосундагы өз ара кыймылдардын мүнөзү менен түшүндүрүлөт.

**Фазалык Р-Т диаграммасы**

Фазалык Р-Т диаграммасы кайсы Р жана Т учурунда заттардын катуу, суюк же газ түрүндөгү абалда болушун жана ошол эле Р жана Т учурунда бир фазадан экинчи фазага өтүүсүн аныктоого мүмкүндүк берет. Т – суюктуктун теӊ салмактуу абалдагы үчилтик чекити катуу буу түрүндөгү фаза. Суу үчүн үчилтик чекити .



I – катуу абалдын аймагы; II – суюк абалдын аймагы; III – газ түрүндөгү абалдын аймагы. ТВ – ийри сызыктын сублимациясы.ТА – ийри сызыгы калкуу . АК – кайноо (конденсация), муну адатта ийри калкуу деп аташат.

Өтө төмөнкү басымда катуу абалдан газ түрүндөгү абалга өтүүчү фазалык өткөрүүнү сублимация деп атайбыз. Р-Т диаграммасында көрүнүп тургандай, туруктуу басымдын учурундагы жылытуу кубулушунда заттардын абалдары кантип өзгөрө тургандыгы көрүнүп турат.

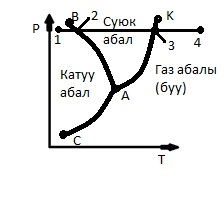
Кооптуу чекит – бул калкуу сызыгында суюк жана газ түрүндөгү фазалардын ортосундагы айырмачылыктардын жок болуу чекити болуп саналат.

***6.2****.* ***Суу буусу. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар.***

***Буунун пайда болуу процесси, фазалык Р-Т, Р-V, Т-S диаграммаларындагы анализ***

Жаратылыштагы бардык анык болгон телолор үч абалда кезигет: катуу, суюк жана газ түрүндө (буу). Белгилүү шарттарда заттар бир фазалык абалдан экинчи фазалык абалга өтүп кете алат. Заттардын бир фазалык абалдан экинчи абалга өтүүсүнө мүмкүн болгон жөндөмдүүлүктөрүн фазалык Р-Т диаграммасында, суунун мисалында көрсөтүүгө болот.

1-4-сызыгы жылытуунун туруктуу басымы учурунда суунун катуу абалдан (муздан) адегенде суюк абалга, андан кийин газ түрүнө (бууга) өткөндүгүн графикалык түрдө көрсөтүп турат.

Ийри АВ ар түрдүү басымда жана температураларда телолордун катуу абалдан суюк абалга өтүүсүн мүнөздөп турат. Мындай фазалык өтүүнү калкуу деп айтабыз.

Ар башка басымда жана температураларда суюк абалдан бууга айланган телолордун фазалык өтүүсүн **буунун пайда болуусу** деп айтабыз.

АК – ийри сызыгы буунун пайда болуусу (кайноо, толкуу).

АС – өзү менен ийри сублимацияны көрсөтөт.

Термодинамикадагы суунун буусу анык газ катарында каралат, ал буунун пайда болуусунун көрсөткүчү менен алынат. Суюктуктун кайноо учурундагы буунун пайда болуусунун натыйжасында өтө нымдуу жана кургак буу алынат.

**Кайнап жаткан суюктуктан алынган жана аны менен бирдей температурада болгон бууну – өтө жыш буу деп атайбыз. Өтө кургак буу менен суюктуктун майда дисперстик кайнатылган тамчыларынын механикалык аралашмасын – өтө жогору кандырылган буу деп атайбыз.**

Жогорку нымдуулукта жыш буусу эки параметр боюнча мүнөздөлөт: кайнатуунун басымы же температурасы жана кургактуулуктун баскычы *х*.

Нымдуулуктагы кургак жыш буунун массалык үлүшүн – нымдуу буунун кургактуулук баскычы деп атайбыз.

,

бул жерде – кургак жыш буунун массасы; – кайнап жаткан суюктуктун массасы.

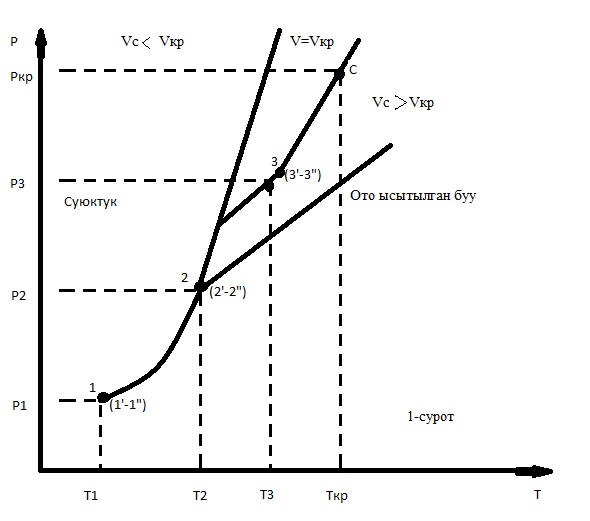
Кургактуулуктун баскычы болгон *х* 0дон 1ге чейин өзгөрөт. Бул *х*=0 кайнап жаткан суюктук үчүн, ал эми *x=1* кургак жыш буу үчүн бөлүп эсептелет.

Кургак жыш буу жыштыктын басымы же температурасы менен мүнөздөлөт. Эгерде кургак бууга ошол эле басымдагы жылуулукту берсек, анда анын температурасы жогорулайт жана буу өтө ысый баштайт.

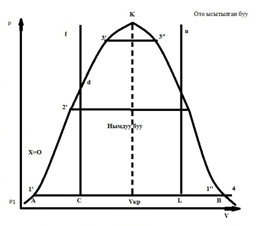
**Бирдей эле басымда жыш бууга караганда өтө жогорку температурага ээ болгон бууну – өтө ысытылган буу деп атайбыз.**

Өтө ысытылган буу басым жана температура менен мүнөздөлөт.

Р-Т жана Р-V диаграммаларында (1 жана 2 сүрөттөр) буунун пайда болуу процессин карап көрөлү.



1 сүрөт



2 сүрөт

Суунун белгилүү өлчөмдөгү басымына, мисалы, Р1ге анын өзүнүн температурасы Т1 дал келет, бул учурда суу кайнай баштайт, кайнатуусун улантат жана кайнап бүтөт (1-сүрөттөгү 1-чекит ).

Бул кайнатуу процессинде суунун жана буунун температурасы туруктуу бойдон калат жана Т1ге Р1 басымына барабар дегенди түшүндүрөт, ал бардык суу бууга айлангычакты токтобойт.

P-V – диаграммасында (2-сүрөт) кайнатуу процесси (буунун пайда болуусу, жыш болуусу) Р1 жана Т1 учурунда 1I жана 1II изобар түрүндө көрсөтүлгөн.

1I чекити суунун кайноо учурун мүнөздөйт, ал эми 1II чекити бардык суунун кургак жыш бууга айлангандан кийинки жылуулуктун кургак жыш бууга (1II чекитиндеги) берилиши, анын өтө ысып кетишине алып келет, б.а. температуранын жогорулашы жыш болуунун температурасынан жогору болот. 1II чекитинин оң жагындагы Р1 (const) сызыгында жаткан бардык чекиттерде, мисалы, 1-чекитте буу өтө ысып кеткен болот. Жыш болуу басымынын жогорулашы, мисалы, Р2ге чейин жогоруласа, ага ылайык Р-жыш буунун температурасы да жогорулайт (1-сүрөт) 2-чекит бул Р2 жана Т2 учурундагы буунун пайда болуусу. P-V диаграммасында (2-сүрөт) Р2 буунун пайда болуусу 2-чекиттен башталып, 3-чекиттен бүтөт. Жыш болуу басымынын андан аркы жогорулашы жогору жактан бир штрихтүү жана эки штрихтүү болгон бир сандуу чекиттери (мисалы, 1I жана 1II, 2I жана 2II, 3I жана 3II) акырындык менен бири-бирине жакындашуусуна жана белгилүү маанидеги басым менен көлөмдүн коюлушуна алып келет. Бул чекит кооптуу чекит болуп саналат. Мында кайнап жаткан суюктук менен кургак жыш буунун ортосундагы физикалык касиеттердин айырмачылыктары жок болуп келет. Бул үчүн ар түрдүү кургактык баскычындагы суу буусунун жана суунун изохордук жылышын карап көрөбүз.

1. Эгерде баардык маанидеги басымдын жана температуранын алдында пайда болуучу жыш буунун пайдалуу көлөмү кооптуу чекиттеги (изохор *К*-*Vкр* 2-сүрөттө) пайдалуу көлөмгө барабар санда сууну жабык жана боштукка келтирилген идиште жылытсак, анда жыш буунун басымынын өзгөрүүсү температуранын өзгөрүүсү менен кооптуу изохор боюнча өтүп (2-сүрөт), жыш болуу сызыгы менен дал келет жана анын уландысы болуп саналат.

2. Эгерде *С* чекитинде пайда болуп жаткан жыш буунун көлөмү кооптуу чекиттеги буунун көлөмүнөн аз болсо, башкача айтканда, *Vc*˂*Vкр*, анда изохордук жылытуу учурунда (c-d-f) сызыгы жыш буунун кургактуулук баскычы төмөндөйт жана изохор менен төмөнкү бөлүктөгү эӊ четки ийри *ДК* (m-чекити 2-сүрөттө) сызыгынын кесилишкен чекитинде кургактуулук баскычы 0го барабар болот. Бул чекитте идиштеги нымдуу жыш буу толугу менен кайнап жаткан суюктукка (өтө жыш) айланат. Мындан кийин берилген жылуулук суюктуктун басымы менен температурасын жогорулатат. c-d-f нымдуу жыш буунун аймагы аркылуу c-f кесиндисинде жана суюктуктун аймагы аркылуу d-f кесиндисинде өтөт. c-d-f изохорун (2-сүрөт) 1-2-d-f ийри сызык катарында Р-Т диаграммасында (1-сүрөт) көрсөтүүгө болот. Ал 1-чекиттен башталат жана *АК* кайнап буу пайда болуучу ийри сызыгы боюнча өтөт, аны менен d чекитине чейин дал келет жана андан кийин суюктуктун ичинде d-f сызыгы боюнча d чекитине тийишкен чекит катары улантылат.

3. Эгерде пайдалуу көлөмү кооптуу чекиттеги *Vс*˃*Vкр* (l-чекити, 2-сүрөттө) буунун пайдалуу көлөмүнөн чоң болгон нымдуу жыш бууну жабык идиште ысытсак, анда ысытуунун натыйжасында кургактуулуктун баскычы жогорулайт. l-m-n изохору менен жогорку эӊ четки *КВ* (m чекити, 2-сүрөттө) кесилишкен жеринде кургактуулуктун баскычы 1ге барабар болот. Андан кийин кургак жыш бууга жылуулук берсек, анын натыйжасында өтө ысытылган буу пайда болот, башкача айтканда, буунун басымы менен температурасы жогорулайт. Ошентип, l-m изохору жыш буунун ичинде өтөт, ал эми анын башка бөлүгү m-n сызыгынын m чекитине тийишкен чекити катары ысытылган буунун ичинде өтөт. l-m-n изохоруна (2-сүрөт) Р-Т диаграммасында өзү менен 1-2-m-n кыйшык сызыгын берет, бул сызык 1-чекиттен башталып, *АК* ийри жыштыгы боюнча m чекитине чейин улантылат, андан ары m-n (1-сүрөт) боюнча ысытылган буунун ичине өтөт. Буга ылайык, Р-Т диаграммасында (1-сүрөт) изохорду жана «суюктук-буу» фазалык өтүүсүнүн линиясын, башкача айтканда, *АК* ийри жыш буусун көрсөтүүгө мүмкүн болот. Жыш буу сызыгынын сол тарабында – суюктуктун (*V*˂*Vкр* изохору) аймагы орун алган, оӊ жагында өтө ысытылган буунун (*V*˃*Vкр* изохору) аймагы жайгашкан. *V*=*Vкр* пайдалуу көлөмүнө дал келген изохорду кооптуу изохор деп атайбыз; ал кооптуу чекиттеги жыш болуу сызыгы менен жалпы тийишүүгө ээ деп эсептелет.

***6.3. Суюктуктун жана кургак жыш буунун негизги параметрлери.***

***Буунун пайда болуу жылуулугу***

0˚С температурада жана ар кандай басымдарда суунун пайдалуу көлөмүн =0,001 барабар деп, жакындатып кабыл алууга болот.

Тийиштүү басымдын алдында 0˚С температурадан кайнаганга чейинки сууну ысытууга сарпталган жылуулуктун пайдалануу көлөмү теӊдемеси менен аныкталат. Бул жерде кайнап жаткан суюктуктун пайдалануу энтальпиясы. – 0˚С температурасындагы суунун пайдалуу энтальпиясы.

Термодинамикада үчилтик чекитке дал келүү абалындагы суунун пайдалуу энтальпиясын жана энтропиясын ; кабыл алат. Үчилтик чекиттеги суунун ички пайдалуу энергиясы , бирок болгондуктан, анда болот. Ал келет да, көлөмү анча чоӊ болбойт, ошондуктан 0˚С температурасында суюктуктун пайдалуу ички энергиясын деп эсептесек болот.

Кайнап жаткан суюктуктун энтальпиясы басым же температура боюнча аныкталат жана ал жыш суу буусунун таблицасынан алынат. Кайнап жаткан суюктуктун пайдалуу ички энергиясы пайдалуу энтальпия үчүн: же жалпы формуласы менен аныкталат.

Кайноо температурасына чейин ысытылган сууну андан ары ысытсак, ал бууга айланат. Буу пайда болуу учурунда анын температурасы суунун акыркы тамчысы калганга чейин туруктуу бойдон сакталат. Натыйжада кургак жыш буу алынат. 1 кг сууну кайноо температурасында кургак жыш бууга айлантууга сарпталган жылуулуктун саны буунун пайда болушунун пайдалуу жылуулугу деп аталат жана ал *r* менен белгиленет. Буунун пайда болуусу *r* толугу менен басым жана температура аркылуу аныкталат. Буунун пайда болуусунун пайдалуу жылуулугу *r* ички кубаттуу энергиянын өзгөрүшүнө же дисгрегация (ажыроо) жумушуна жана кеӊейүүнүн сырткы жумушуна коротулат.

*ρ* көлөмү – буунун пайда болушунун ички жылуулугу, ал эми Ѱ – сырткы жылуулугу деп аталат. Буунун пайда болуу жылуулугу .

Кургак каныккан буунун пайдалуу энтальпиясы формуласы боюнча аныкталат. Кургак каныккан буу бир гана параметр боюнча же басым менен же температура менен аныкталат.

мааниси суу буусунун таблицасынан алынат. Кооптуу чекиттеги кургак каныккан буунун энтальпиясы суюктуктун энтальпиясына барабар болуп эсептелет.

**Маселе 7.** Диаграммасы h-S жана суунун буусунун таблицасын колдонуп буунун көлөмүн,температурасын, энтальпиясын жана энтропиясын аныктагыла;

а) басымы P1 болгон кургак каныккан бууну

б) басым P2 жана кургактык даражасы x болгондо нымдуулуктугу

в) басым P3 жана температура t3 болгондо өтө ысытылган бууну;

Ошондой эле нымдуу каныкан буунун абалынын чен сандары кандай өлчөнөт, төмөнкү учурларда:

а) изобардык процесстте t1 чейин ысытылганда;

б) P4 басымына чейин адиабаттык кысылууда;

в) басымы P5 чейин адиабаттык кеңейүүдө;

Берилишин табл.8 дан алгыла:

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Z | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| P1, бар | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 4,5 | 5,5 | 6,5 | 3,5 | 3 |
| P2, бар | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 14 | 16 | 20 | 13 | 15 |
| Кургактыктын даражасы Х | 0,95 | 0,85 | 0,7 | 0,87 | 0,94 | 0,69 | 0,66 | 0,75 | 0,8 | 0,9 |
| P3, бар | 2 | 6 | 10 | 12 | 14 | 18 | 20 | 16 | 21 | 22 |
| t3, 0 C | 200 | 250 | 280 | 300 | 350 | 400 | 500 | 600 | 450 | 600 |
| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| t1, 0 C | . 250 | 300 | 350 | 200 | 280 | 320 | 350 | 400 | 600 | 450 |
| P4, бар | 40 | 30 | 35 | 38 | 50 | 45 | 40 | 30 | 35 | 60 |
| P5, бар | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 |
| Акыркы сандын астындагы саны | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 |

**Текшерүүчү суроолор**

53. Фаза жана фазалык өткөрүү деген эмне? Фазалык өткөрүүнүн кандай түрлөрү бар?

54. Кандай фазалык өткөрүү түз жана кайтарылма деп аталат?

55. Кайноо, буулануу, буунун жаралуусу деп эмнени айтабыз?

56. Кандай бууну каныккан буу деп айтабыз? Каныккан буунун кандай түрлөрү бар?

57. Кандай бууну ысытылган буу деп айтабыз? Ысытуунун кандай даражалары бар?

58. Кургактык даражасы деген эмне? Ал кандай чектерде өзгөрөт жана аны кайсы буу мүнөздөйт?

59. Буу жаралуудагы жылуулук деген эмне жана ал каныгуу басымына кандай көз карандылыкта өзгөрөт?

60. Кайсы чекит кооптуу чекит деп аталат? Кооптуу чекитте буунун жаралуусундагы жылуулук эмнеге барабар?

61. Жылуулук келип жаткандыгына карабастан, нымдуу каныккан буунун температурасы эмне үчүн буу жаралуу процессинде өзгөрбөйт?

62. Нымдуу, кургак, каныккан өтө ысытылган буу деген эмне? Критикалык жана үчилтик чекит деген эмне? Кургакчылыктын деңгээли (*х*), буулануу жылуулугу (*r*) деп эмне аталат?

63.Суу буусунун РТ, , ТS фазалык диаграммаларында фазалык өтүштөрдγн сызыктарын жана мүнөздүү аймактарды көрсөткγлө.

64. Суу жана суу буусунун таблицалары жана hS диаграммалар боюнча параметрлерди кантип тапса болот?

65. Кандай термодинамикалык шарттардын учурунда буу жаралуу процесси болот?

66. Нымдуу каныккан буунун салыштырмалуу көлөмү, энтальпиясы жана энтропиясы кантип аныкталат?

67.Суунун жана кургак каныккан буунун каныгуу ийри сызыгы боюнча чен сандарын кантип аныктаса болот?

68. Эмне үчүн кайноо температурасынын өсүшү менен бууну пайда кылуу жылуулук азаят?

69. РТ, диаграммасында сууну жана өтө ысытылган буунун изохорасы кантип өтөт?

70. Бирдей эле басымда өтө ысытылган же нымдуу каныккан буунун кайсынысы нымдуу?

71. Берилен телонун кайсынысы чоң: сублимациясыбы же конденсация температурасыбы?

72. Эмне үчүн салыштырма көлөм <?

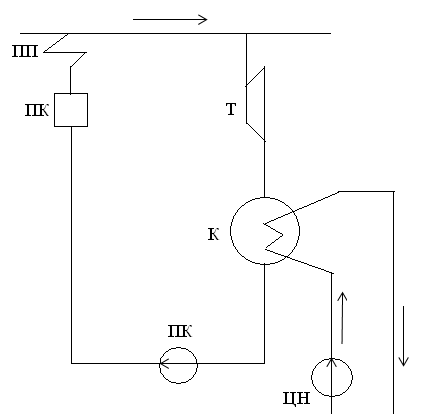
***Глава 7. Буу менен иштеген орнотмолор***

***Ренкиндин циклы. Орнотмонун схемасы. Циклды***

***диаграммаларында көрсөтүү. Ренкиндин циклынын пайдалуу аракет коэффиценти (П.А.К.). Циклдын термикалык пайдалуу аракет коэффицентин чоңойтуунун жолдору. Бууну экинчи жолу ысытуу жолу менен өткөн цикл, регенеративдүү, керектөөчүлөрдү жылуулук менен камсыздандыруучу цикл. Жылуулуктуу колдонуу коэффиценти. КЭСтин, ТЭЦтин принципиалдуу схемалары.***

***7.1. Буу күчүнө ээ болгон орнотмонун шарттуу схемасы.***

***Ренкиндин циклы. Орнотмонун схемасы***

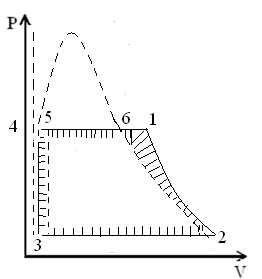


ПК буу казанынан чыккан буу ПП буу жылыткычына келип түшөт, ал жактан Т түтүгүнө багыт алат, андан ары К конденсаторуна барат. Конденсатордо циркуляциялык насостон берилген муздатуучу суунун ЦН жардамы менен буудан жылуулук бөлүнүп чыгат жана ал конденсатка айланат. Пайда болгон конденсат ПН азыктандыргыч насосу аркылуу казанга берилет жана бул цикл кайрадан кайталанат.

.

**P-V диаграммасындагы Ренкиндин теоретикалык цикли**

Чекит 3-конденсатордун чыга беришиндеги суунун абалын мүнөздөйт, 3-4- сызыгы азыктандыргыч насостогу басымдын жогорулоо процесси, 4-5-буу казанындагы суунун жылытылышы, чекит 5 – каныккан температурадагы суунун абалы, 5-6-казанда буунун пайда болушу, 6-1- буу жылыткычындагы буунун кайра жылытылышы. Чекит 1 түтүккө келип түшкөн суунун абалын мүнөздөйт; 1-2-түтүктөгү буунун



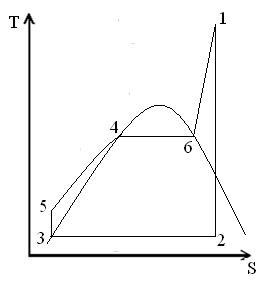
адиабаттык кеңейүүсү; чекит 2-түтүктөн чыгып, иштетилген буунун абалы; 2-3-конденсатордогу буунун конденсациялануу процесси.

адиабаттык кеңейүүсү; чекит 2-түтүктөн чыгып, иштетилген буунун абалы; 2-3-конденсатордогу буунун конденсациялануу процесси.

**Ренкин циклинин диаграммасы**

Цикл төмөнкү процесстерден турат: насостогу суунун кысылышы (адиабаттык процесс 3-5), сууга жылуулук алып келүүчү 5-4-6-1 изобардык процесси (адатта кайра жылытылган бууну алуу үчүн); 1-2 түтүгүндөгү адиабаттык кеңейүү жана 2-3 конденсаторунан жылуулукту изобардык алып кетүү.

; (1)



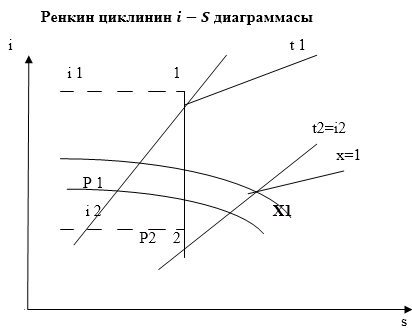
термикалык П.А.К. циклинин (насостун иштешин эсепке албаганда). Бул жерде – түтүктөгү адиабаттык кеңейүүгө чейинки буунун энтальпиясы; түтүктөгү адиабаттык кеңейүүнүн акырындагы буунун кеңейүүсү; буунун изобардык конденсация процессинин акырындагы суунун энтальпиясы. Мындай циклдин иштеши .

Өтө жогорку басымда насостун иштешин эсепке алуу керек, анткени, насостогу суунун адиабаттык кысылуу процессинде энтальпиялардан башкачалуулугу катары аныкталышы мүмкүн же муну төмөнкү формула боюнча так аныктап алуу керек: , бул жерде – циклдин төмөнкү жана жогорку басымы болуп саналат; – кайнап жаткан суунун басымындагы пайдалуу көлөмү.

Циклдын термикалык П.А.К. насостун иштешин эсепке алуу менен

мындай циклдын иштеши .

Циклдын термикалык П.А.К. түтүктөгү буунун басымына жана температурасына, ошондой эле конденсатордогу басымга көз каранды болот. Буунун баштапкы басымынын жана температурасынын жогорулашы, ошондой эле конденсатордогу басымдын төмөндөшү менен циклдын жогорулайт. Буунун конденсациялануу учурунда циклден бөлүнүп чыккан жылуулукту пайдаланууга болот жана ал экономикалык жактан абдан пайдалуу болуп саналат, мисалы: жылуулаштыруу максатындагы иштер (жылытуу жана технологиялык керектөөлөр).



Кайра жылытылган буу үчүн баштапкы абал изобары менен изотермасынын кесилишинде, нымдуу буу үчүн изобары менен кургактык сызыгынын кесилишинде, каныккан кургак буу үчүн изобары менен жогорку четки ийри сызыктын кесилишинде жайгашкан. Буунун баштапкы абалын чагылдыра турган чекит 1ни ординаттын огуна жайгаштырып, буунун энтальпиясын табабыз, андан кеңейүүнү адиабаттын (ординаттын огуна түз, параллель болгон) изобарынын акырына чейин өткөрүү жолу аркылуу иштетилген буунун абалын мүнөздөй турган чекит 2ни алабыз. Бул чекит боюнча – буунун акыркы абалындагы энтальпиясын табабыз. 1-2 кесиндиси белгилүү масштабда чоңдугунун маанисин берет.

Жумушчу телонун баштапкы жана акыркы абалдарынын параметрлеринин өзгөрүү учурундагы терең изилдөөдөн Ренкин циклинин термикалык П.А.К. төмөнкүдөй түргө келет: баштапкы басымдын жана баштапкы температуранын жогорулашы жана ошондой эле конденсатордогу басымынын төмөндөшү менен бул циклдин термикалык П.А.К. жогорулайт.

Ренкиндин идеалдык цикли учурунда буу менен жылуулуктун салыштырмалуу чыгымы төмөндөгү формула менен аныкталат:

, (2)

же

, (3)

эгерде мааниси алынгын болсо, көлөм деп, жылуулук өткөрүүгө ээ болууну айтабыз.

Ренкин циклинде 1кг буу үчүн жылуулук чыгымдалгандыктан

1 кВт жылуулуктун салыштырмалуу чыгымы () кДж/(кВтс) (4) болот.

Формулалар (1), (4) буу күчүнө иштеген орнотмонун идеалдык циклиндеги буу менен жылуулуктун термикалык П.А.К. жана салыштырмалуу чыгымын аныктайт.

***7.3. Экинчи жолу ысытылган буунун циклы.***

Түтүктүн акыркы баскычтарындагы буунун жогорку нымдуулугунан улам пайда болуучу жоготууларды азайтуу үчүн, ошондой эле жогорку басымдагы бууну колдонуудагы циклдин үнөмдүүлүгүнүн түздөн-түз жогорулашынан улам экинчи жолу ысытылган буу циклин көп колдонушат.

Бууну учуру менен ысытуучу буу күчүндөгү орнотмонун схемасы



Схемадан көрүнүп тургандай, бууну кайра ысыткычтан 2 чыккан буу жогорку басымдагы цилиндрге 3 карай багыт алат; анын чыга беришинде бууну кайра ысытуу үчүн экинчи жолу буу ысыткычка 4 келип түшөт, андан ары төмөнкү басымдагы 5 түтүккө берилет (6-позициясында электр генератору, 1-позицияда казан көрсөтүлгөн), андан кийин конденсаторго 7 берилет, андан чыккан конденсат насоско 8 келип түшөт. Жогорку басымдагы түтүк цилиндрдеги адиабаттык кеңейүү процесси диаграммасынын 1-2 кесилишинде чагылдырылып көрсөтүлгөн, ал эми төмөнкү басымдуу цилиндрдеги адиабаттык процесс кесилишинде көрсөтүлгөн.

Циклдын пайдалуу жумушу жылуулук түшүүчү барабар болгон жогорку басымдагы цилиндрдин пайдалуу жумушунан жана жылуулук келшүүчү же барабар болгон төмөнкү басымдагы цилиндрдин пайдалуу жумуштарынан бириктирилет.

Циклдеги жумушчу нерсеге берилүүчү жылуулуктун саны казандагы агрегаттан берилген жана (энтальпияменен мүнөздөлүшү аркылуу cуунун энтальпия аркылуу мүнөздөлүүчү ысытылган бууга айланышы) барабар болгон, жылуулуктан жана ошондой эле мезгилдик буу ысыткычтагы бууга берилген жана барабар болгон жылуулуктан бириктирилет, башкача айтканда . Ошентип, каралып жаткан циклдин термикалык П.А.К. төмөндөгүдөй жазылат:

.

Буга ылайык 1 кДж иштеп чыгууга кеткен буунун теоретикалык салыштырмалуу чыгымы төмөнкү формула менен :

кг/кДж.

Буунун мезгилдик ысытылышы адатта буу ысыткычта өтөт, буу ысыткыч казан агрегатындагы газ трактынын бул же тигил ордунда жайгашкан болот. Бул жакка түтүктөн буу келет жана ысытылган буу, буу өткөргүч аркылуу кайрадан түтүккө келип түшөт.

***Маселе 10.*** Ренкиндин цикли боюнча иштеген буу турбиналуу орнотмосу үчүн берилген жылуулуктун өзгөрүүсүн аныктоо: турбинада буунун акыркы кеңейишиндеги кургактык даражасын; циклде аткарылган жумушту; циклде (буу турбинада) берилген жылуулуктун санын; циклдин термикалык ПАК ин; электр энергиясын өндүрүүгө кеткен буунун жана жылуулуктун салыштырмалуу теориялык чыгымдарын.

Эсептөөлөр буунун турбинага чейинки баштапкы маанилеринде жана конденсатордогу акыркы басымда жүргүзүлөт. Ошондой эле Рпп басымы жана tпп температурасы астында убакыт аралыгында ысыган буунун мааниси колдонулат.

Эсептөөлөр 1 кг жумушчу тело үчүн жүргүзүлөт жана буунун кеңейүү процессинин чиймеси hs – диаграммада иллюстрацияланат. Эсептөөнүн жыйынтыгын таблица түрүндө түшүрүп, аларды анализдөө талап кылынат.

Жөнөкөй буу генератор орнотмосунун схемасы, анын иштөө принциби тууралуу кыскача түшүндүрмө жана PV, TS, hs – диаграмма чагылдырылган цикл көрсөтүлөт. Эсептөөлөр үчүн тапшырманын маанилери 2 – таблицадан алынат.

**10 маселени аткарууга усулдук көрсөтмө**

Маселени эсептөө hs – диаграмманы жана сууну; суунун буусунун мүнөздөмөсүн камтыган таблицаны колдонуу менен жүргүзүлөт.

Эсептөө төмөнкү ырааттуулукта жүргүзүлөт:

2 – таблицадан алынган басымдын Р1 жана температуранын t1 мааниси боюнча hs – диаграммада 1 чекит коюлат (изобаранын изотерма менен кесилишкен чекити). Ал чекиттин мааниси турбинадагы ысыган буунун абалы менен дал келиши шарт. 1 чекиттин акыркы Р2 басымга чейин турбинадагы буунун кеңейүү процессине дал келген адиабата түшүрүлөт. Турбинадагы буунун кеңейүүсүн жумушчу процесси менен изобаранын кесилишинде пайда болгон 2 чекити турбинанын чыгуусундагы нымдуу бууну мүнөздөйт. 1 чекитте ысытылган буунун энтальпиясы h1, 2 чекитинде иштетилген буунун энтальпиясы h2 жана буунун кургактыгы Х2 аныкталат. Р2 басым астындагы конденсаттын энтальпиясы төмөнкү формула боюнча аныкталат:

бул формулада:

– температура,

- суунун массалык изобардык жылуулук көлөмү;

– Р2 басым астындагы каныккан температура (hs – диаграмманын жардамы менен аныкталат).

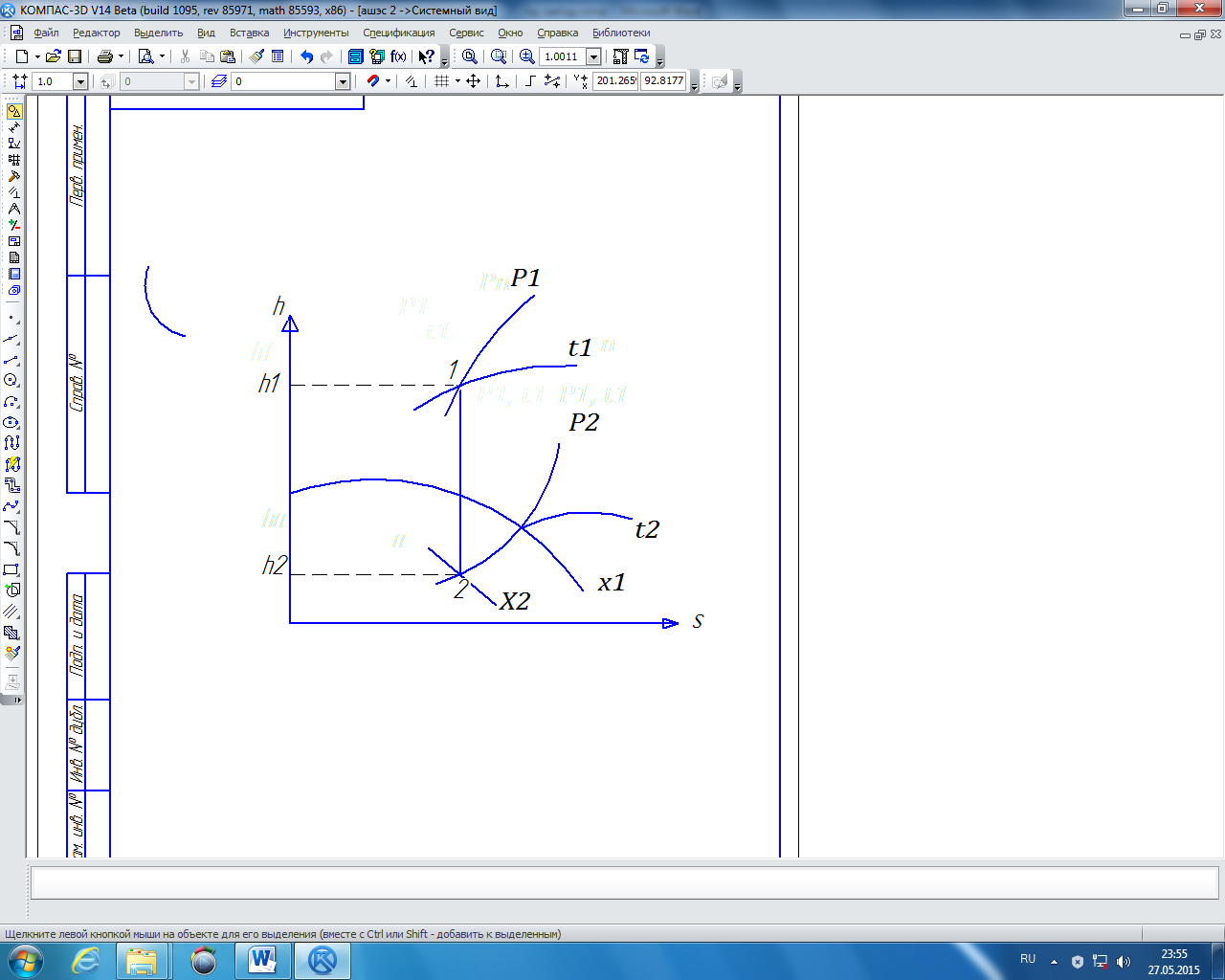


Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | Буунун басымы | | Варианттын акыркы санын алдынкысы | Буунун башт. темп.  t1, | Убакыт аралыгында ысыган буунун мүнөзү | |
| Баштапкы басым  Р1, МПа | Акыркы басым  Р2, МПа | Басым  Рпп, МПа | Температура  tпп, |
| 0 | 10 | 0,005 | 0 | 480 | 0,35 | 480 |
| 1 | 8 | 0,0055 | 1 | 490 | 0,45 | 490 |
| 2 | 9 | 0,0048 | 2 | 500 | 0,42 | 500 |
| 3 | 11 | 0,004 | 3 | 510 | 0,45 | 510 |
| 4 | 12 | 0,0052 | 4 | 520 | 0,47 | 520 |
| 5 | 9,5 | 0,0045 | 5 | 530 | 0,38 | 530 |
| 6 | 10,5 | 0,0035 | 6 | 540 | 0,36 | 540 |
| 7 | 11,5 | 0,0030 | 7 | 550 | 0,44 | 550 |
| 8 | 12,7 | 0,0043 | 8 | 560 | 0,39 | 560 |
| 9 | 8,5 | 0,0038 | 9 | 570 | 0,41 | 570 |

а) жайгашкан температуранын төмөндөшү (кДж/кг):

б) циклдин пайдалуу жумушу:

бул барабарсыздыкта – 1 кг буунун турбинада кеңейүү жумушу ();

– 1 суунун насостогу кысуу жумушу;

Р1, Р2 – жумушчу телонун баштапкы жана акыркы басымы (МПа);

Суунун өздүк көлөмү

в) циклде берилген жылуулуктун саны, ();

– суунун насостон кийинки энтальпиясы; эгерде

г) циклдин термиттик ПАКи:

д) буунун циклдеги теориялык өздүк чыгымы, ();

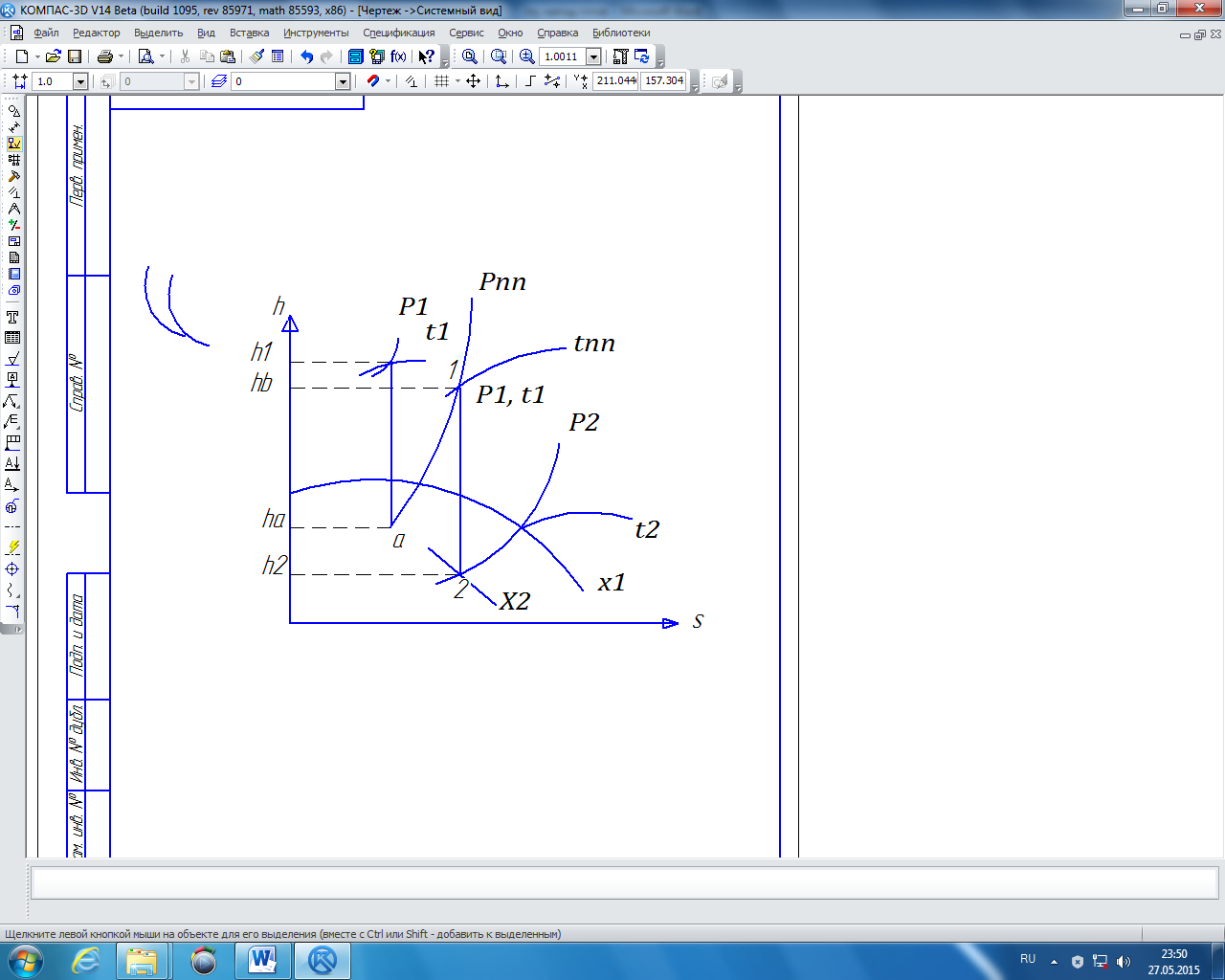
е) жылуулуктун циклдеги өздүк чыгымы, ();

2. Бууну убакыт аралыгында ысытуу циклинин эсептөөлөрү буунун баштапкы мүнөздөмөлөрүндө жүргүзүлөт Р1, t1 жана акыркы басымда Р2. Бул үчүн hs – диаграммадагы турбинага чейинки буунун абалына дал келген 1 – чекиттен изобара менен кесилишкенге чейинки буунун жогорку басымындагы адиабата түшүрүлөт. Бул чиймеде ***а*** чекити буунун экинчи жолку ысытуусунун абалын мүнөздөйт. ***b*** чекити буунун экинчи жолку ысытуудан кийинки абалын мүнөздөйт жана ал изобара менен изотерманын кесилишинде аныкталат. ***a – b*** сызыгы буунун буу ысыткычтагы убакыт аралыгындагы ысуу процессине дал келет, ал эми ***b – 2*** сызыгы буунун төмөнкү басымындагы кеңейүү процессине дал келет.

Кезекте буунун ***1, a, b, 2*** чекиттериндеги энтальпиясы жана ***X2*** кургактык даражасы аныкталат.

Андан ары циклдин негизги мүнөздөмөлөрү эсептелинет:

а) жайгашкан температуранын төмөндөшү, (кДж/кг):



б) 1 кг буунун циклдеги пайдалуу иши, (кДж/кг):

в) циклде берилген жылуулуктун саны, (кДж/кг):

Бул формулада – буунун экинчи жолку ысуусунда энтальпиянын жогорулашы (кДж/кг);

г) циклдин термиттик ПАКи:

д) буунун өздүк чыгымы, ():

е) жылуулуктун өздүк чыгымы, ():

3. Алынган жыйынтыктар таблицага түшүрүлөт, циклдин убакыт аралыгындагы ысышына салыштырмалуу анализ жүргүзүлөт.эсептөөдө турбинадагы буунун ар бир процесси үчүн чиймелер иллюстрацияланат.

Берилген отундун түрүнө, буу генераторунун жылуулук өндүрүмдүүлүгүнө , чыгып кетүүчү газдагы абанын ашыктык коэфициентине жана температурасына жараша отундун жумушчу массасын жана анын төмонкү күйүү жылуулугун аныктагыла.

Отундун күйүүсүн камсыздаган абанын теориялык санын 1 кг (1м3), күйүү каражатынын көлөмүн, буу генераторунун ПАКин, натуралдык отундун секундалык жана массалык чыгымын эсептегиле.

Эсептөө үчүн маселенин берилишин 7 – таблицадан алгыла.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы санын алдынкысы | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 |

**Текшерүүчү суроолор**

73. Күйүүчү майдын массасы кандай элементтерден турат?

74. Буу казанындагы айлануунун тактыгы кайсы теңдеме менен аныкталат?

75. Буу казанындагы бруттонун пайдалуу аракетинин коэффициенти (ПАК) кайсы теңдеме менен аныкталат?

76. Буу казанындагы бруттонун пайдалуу аракетинин коэффициенти (ПАК) кайсы теңдеме менен аныкталат?

77. Буу казанындагы кыймылдагы айланма түртүү күчү кайсы теңдеме менен аныкталат?

78. Буу казанында күйүүчү майдын тутануу учурундагы чыгашасы кайсы формула боюнча аныкталат?

79. Буу казанындагы табигый жана шарттуу отундун сарпталышы кантип аныкталат?

80. От жагылуучу мештеги чыккан күйгөн заттын температурасы кантип тандалынат?

81. Катуу отунду жагуунун кандай ыкмалары бар?

82. Газ түрүндөгү жана суюк отундарды жагуунун кандай түрлөрү бар?

***Жылуулук жана масса алмашуу теориясы***

***Глава 8. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар***

Жылуулукту таратуунун түрлөрү: жылуулук өткөрүүчүлүк, конвекция жана жылуулук нурдануусу. Жылуулук берүү. Татаал жылуулук алмашуусу. Жылуулук өткөрүүчүлүк. Фурьенин закону. Жылуулук өткөрүүнүн коэффициенти, температуранын градиенти. Стационардык режим учурундагы ар түрдүү дубалдардын жылуулук өткөргүчтүгү.

***8.1. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар. Жылуулук берүүнүн ыкмалары***

*Жылуулук алып жүрүүчү бардык процесстер жылуулук алмашуу деп аталат.*

Эки телонун ортосундагы (өтө ысытылган же аз ысытылган) жылуулук алмашуу учурунда биринчи телонун ички энергиясы азаят, ал эми экинчи телонун ички энергиясы ошончолук көбөйөт. Жылуулуктун бул өз ара аракеттенүү процессинде термодинамиканын экинчи законуна ылайык жылуулук өз эркинче өтө ысыган телодон аз ыcыган телого өтөт. Жылуулук алмашып жаткан телолордун температурасынын ар башкалыгы канчалык чоң болсо, жылуулук алмашуу процесси телого ошончолук интенсивдүү түрдө агып өтөт. Айырмачылык токтогондо жылуулуктун тең салмактуулугу башталат.

*Жылуулук алып жүрүү закону – ченемдүүлүктөр жана бул процесстин сапаттык мүнөздөмөсү жылуулук теориясын изилдөөнүн предмети болуп саналат.*

Жылуулук бардык заттарга берилүү касиетине ээ, ал тургай ваакумга (боштук) да бериле алат.

Табияттагы жылуулук алып жүрүүнүн үч ыкмасын бөлүп көрсөтүшөт: Жылуулук өткөргүчтүгү, конвекциясы, нурлануу (радиация).

Баардык заттарда жылуулук энергияны микро бөлүкчөлөр менен алып жүрүүнүн эсебинен болуучу жылуулук өткөрүүчүлүк аркылуу берилет.

Молекулалардан, атомдордон, электрондордон жана башка майда бөлүктөрдөн турган заттар алардын температурасына пропорционалдуу ылдамдыкта кыймылдоо менен өтө жогорку температурадан энергияны өтө төмөнкү температурадагы зонага алып өтөт. Таза түрдөгү жылуулук өткөрүүчүлүк катуу телолордо гана орун алат.

Суюктуктарда, аны менен катар кыймылдуу майда бөлүкчөлөр ар башка температурадагы зоналардын ортосунда макроскопикалык көлөмдө гана аралашуусу мүмкүн.

*Макроскопикалык көлөмдөгү заттар менен чогуу жылуулукту алып жүрүү – конвективдүү жылуулук алып жүрүү же жөн эле конвекция деп аталат.*

Конвекция менен жылуулукту өтө алыс аралыктарга берүүгө болот. Мисалы, ЖЭбден чыккан жылуулук кыймылдагы ыcык суу менен бирге ондогон километр аралыктагы турак-жай үйлөргө жана өнөр жай имараттарына түтүк аркылуу берилет.

*Жылуулукту жеткирүү үчүн пайдаланылуучу кыймылдуу чөйрө жылуулук алып жүрүүчү деп аталат.*

Суюктук менен катуу телонун үстүңкү бетинин ортосундагы конвективдүү жылуулук алмашууну көп учурда эсептеп чыгууга туура келет.

Бул процесс – конвективдүү жылуулук берүү деген аталышка ээ (жылуулук суюктуктан үстүңкү бөлүккө же тескерисинче, төмөнкү бөлүккө берилет).

Жылуулукту жеткирүүнүн үчүнчү жолу – нурлануу. Нурлануунун эсебинен жылуулук бардык нур өткөрүүчү чөйрөдө, алардын ичинде ваакум да берилет. Мисалы, космосто телолор ортосундагы жылуулук берүүнүн жалгыз жолу ушул гана болуп саналат.

Нурлануу менен жылуулук алмашуу учурунда энергия алып жүрүүчүлөр болуп фотондор эсептелинет, алар жылуулук алмашууга катышуучу телолор менен нурланышат жана аларга жутулат (сиңет).

Жылуулук жеткирүүнүн бир бөлүгү бир эле мезгилде ар башка жолдор менен (татаал жылуулук алмашуу) жүргүзүлөт.

Мисалы, газдан чыккан конвективдүү жылуулук берүүсү дайыма дубалга иш жүзүндө нурлануудагы жылуулук жеткирүүcү менен коштолот.

***8.2. Жылуулук өткөрүүчүлүк. Фурьенин закону. Температуранын градиенти. Стационардык режим учурундагы ар кандай дубалдардын жылуулук өткөргүчтүгү***

*Жылуулук өткөргүчтүк – өзүнө бири-бири менен тийишкен абалдагы телолордун бөлүктөрүнүн ортосундагы энергияны таратуу процессин камтыйт.*

Жылуулук өткөргүчтүк боюнча жылуулукту жеткирүү телонун көлөмү боюнча температуранын бөлүнүшүнөн көз каранды болот.

*Телонун бардык чекиттериндеги убакыттын ошол учурундагы температуранын маанисинин жыйындысы – температуралык талаа деп аталат.*

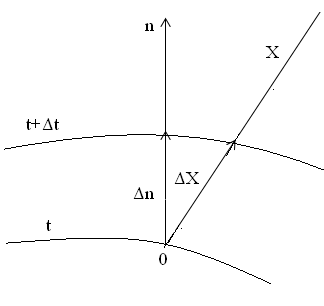
Жалпы учурда температура 3 түрдүү мейкиндиктеги координаттын жана убакыттын функциясы болуп эсептелет. Ошондуктан, температуралык талаанын математикалык берилиши төмөнкүдөй түрдө берилет: *T=f*(*x,y,z*,*τ*), бул жерде *x,y,z* – чекиттердин координаты, *τ* – убакыт.

Температуралык талаа стационардык жана стационардык эмес деп бөлүнөт.

1. Эгерде телонун температурасы координат менен убакыттын функциясы болсо, анда температуралык талааны стационардык эмес деп аташат, тактап айтканда убакытка көз каранды болот. *T=f*(*x,y,z*,*τ*), *dt/dτ ≠0.*

2. Эгерде телонун температурасы координаттын гана функциясы болсо жана убакыттын өтүшү менен өзгөрбөсө, анда температуралык талааны стационардык деп аташат: *T=f*(*x,y,z*,), *dt/dτ=0*.

*Бардык чекиттериндеги температура бирдей болгон үстүңкү бетти изотермикалык жогорку бет деп аташат.*

Эгерде бири-бирине жакын жайгашкан t жана t+∆t температурадагы эки изотермикалык үстүңкү бетти алсак, 0 чекитин изотерма менен кесилише турган *х* чекитин карай жылдырсак, мындан температуранын өзгөргөнүн байкайбыз, температуранын узундуктун бирдигиндеги эң чоң** өзгөрүүсү изотермикалык үстүңкү беттин нормалы *n* карай багытта болот.

*n* нормалы боюнча изотермалардын ортосундагы аралыкка карай температуранын ∆t өзгөрүү байланышынын чегин температуралык градиент деп аташат:

Температуралык градиент жоон телодогу температура канчалык интенсивдүү (чукул) алмашса, көптөгөн физикалык процесстерди (бирдей эмес жылытуудан улам ичке телолордогу жараканын пайда болуусу, термикалык бузулуулар ж.б.у.с.) аныктай турган маанилүү чоңдук экендигин көрсөтүп турат.

Температуранын градиенти изотермикалык жогорку бетти карай нормал боюнча багытталган вектор болуп эсептелет. Болгондо да, оң багыттагы вектор үчүн температуранын чоңоюш жагына болгон багыт кабыл алынат, ал бул багыттагы температурадан сандык барабар, жекече өндүрүлгөн.

***Убакыттын бирдиги ичинде изотермикалык үстүңкү беттин бирдиги аркылуу өткөн жылуулук саны жылуулук агымынын тыгыздыгы деп аталат.***

***Вт/м2.***

***Жылуулук агымы – бул убакыттын бирдиги ичинде эркин үстүңкү беттен берилген жылуулук саны болуп саналат.***

***(Дж/с=Вт).***

Фурьенин закону: Мында (-) белгиси жылуулук агымы менен температуранын градиентинин векторлорунун карама-каршы абалдагы багыттарын көрсөтөт.

**Жылуулук өткөргүчтүктүн коэффициенти**

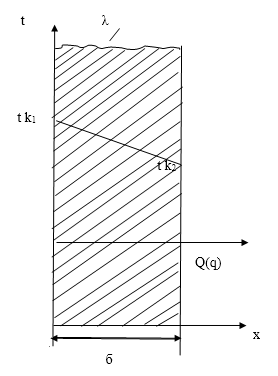
*Жылуулук өткөргүчтүк коэффициенти – бул телонун жылуулук өткөрүү жөндөмүн мүнөздөөчү физикалык сапат болуп эсептелет.*

*Вт/м ·*

*Жылуулук өткөргүчтүктүн эсептелинген мааниси – бул изотермикалык үстүңкү беттин бирдиги аркылуу өтүүчү жылуулуктун саны болуп саналат .*

***8.3. Жалпак жана цилиндр түрүндөгү дубал аркылуу стационардык режим учурундагы жылуулук өткөргүчтүк. Бир катмарлуу жалпак дубал.***

Жылуулук өткөргүчтүк жылуулук жеткирүүнүн өз алдынча процесси катары катуу заттарда гана каралат. Суюктуктагы жылуулук өткөргүчтүк деп конвекция менен бирдикте, же нурлануу, же бул эки процесс менен бир мезгилде чогуу өткөн процессти түшүнөбүз.



Чечилип жаткан жылуулук алмашуу теориясынын эң жөнөкөй жана кеңири тараган милдети болуп tk1 жана tk2 температура кармалып турган б жоондукта үстүңкү беттин бир катмар жалпак дубалы аркылуу жылуулук өткөргүчтүк эсептелет. Узундугу жана туурасы б катмары менен салыштырганда чоң болгон жылуулук берүү процессин карап көрөбүз.

Дубал өзүнүн бардык бөлүктөрүндө бирдей жоондукта температурага ээ, дубалдын үстүндөгү бетинде температура tk1 жана tk2 туруктуу кармалып турат, тактап айтканда, изотермдин үстүңкү бөлүгү болуп саналат. Температура дубалдын жоондугу, бир координат боюнча гана алмашат. Жылуулук агымын аныктоо үчүн эсептөө формуласы жана жалпак дубал үчүн жылуулук агымынын тыгыздыгы q төмөнкү көрүнүшкө ээ:

а) бир катмарлуу жалпак дубалдын жылуулук өткөргүчтүгүг төмөнкү формула боюнча аныкталат:

бул жерде – жылуулук агымы, Вт; – дубалдын жоондугу, м; – дубалдын аянты, м2;

б) бир катмарлуу жалпак дубал аркылуу өтүүчү жылуулук агымынын тыгыздыгы төмөнкү теңдеме менен берилет:

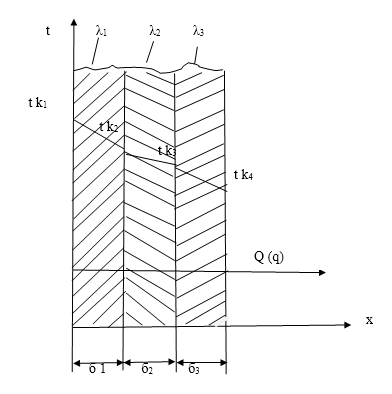
- байланышы дубалдын жылуулук өткөрүмдүүлүгү деп аталат.

(2) формула жөнөкөй формула болуп эсептелет, ал жылуулук эсептөөлөрдө кеңири колдонууга ээ.

Тескери чоңдуктар (м·К/Вт ) – дубалдын термикалык каршылыгы деп аталат, ал термикалык каршылык менен белгиленет.

***8.4. Көп катмарлуу жалпак дубал***

Жылуулук аппараттарындагы бөлүктү ар кыл материалдардан жасалган, бир нече жалпак катмарлардан турган дубал тосуп алат. Бул үчүн теңдемени чыгарабыз, баардык катмарлар бири-бирине тыгыз жайгашкан деп коёлук. Жылуулуктун үч катмарлуу дубал аркылуу берилишин карап көрөбүз.



Катмарлардын калыңдыгы δ1, δ2 жана δ3 жана жылуулук агымы сол жактагы үстүңкү беттен оң жакка багытталган деп коёлук.

Мындан: .

Катмарлардын жылуулук өткөрүүчүлүгү буга жараша га барабар болот.

Катмарлардын жоондугу: δ1, δ2 жана δ3.

Орнотулган жылуулук режими учурундагы жылуулук агымы дубалдын ар бир катмары аркылуу өтөт.

Анда, биринчи катмар үчүн:

экинчи катмар үчүн:

үчүнчү катмар үчүн:

Температуранын салыштырмалуу ар башкалыгында бул теңдемени чыгарууда жана кошуу менен төмөнкүнү алабыз:

Бул теңдемеден чыгарабыз *q*:

F аянттуу дубал аркылуу өтүүчү жылуулук агымы Q аныкталат:

Катмарлуу дубал – n үчүн:

мында – көп катмарлуу дубалдын толук термикалык каршылык.

Кээде жылуулук өткөрүүчүлүктүн эквиваленттүү коэффициенти - теңдемесин киргизүү менен көп катмарлуу жалпак катмарды бир тектүү катары эсептешет:

(7) жана (8) теңдемелерин салыштырып төмөнкүнү алабыз:

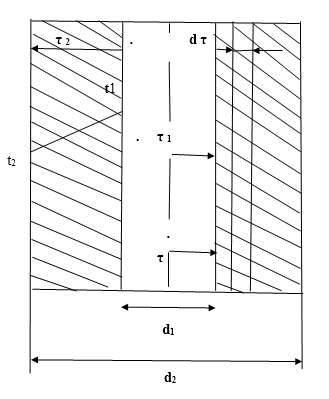
Чоңдук – термикалык каршылыкка жана айрым катмарлардын жоондугуна көз каранды болуп саналат. Татаал дубалдын катмарларынын ортосундагы температура төмөнкүгө барабар:

Дубалдын ар бир катмарындагы температура =const учурунда сызыктуу өзгөрөт, ал эми көп катмарлуу жалпак дубал үчүн температуралык график сынык сызык түрүндө болот. Ар кандай катмарларда температуранын өзгөрүшү ар башка болгондуктан, төмөнкү формулага ылайык,

,

Баардык катмарлар аркылуу өтүүчү жылуулук агымдын тыгыздыктары бирдей болуп саналат. Буга жараша, жылуулук өткөрүүчүлүгү аз болгон катмарларда температура өтө тез алмашат.

***8.5****.* ***Цилиндр түрүндөгү бир тектүү дубал***

****

Узундугу , ички радиусу r1 жана сырткы күрүнүшү r2 болгон бир тектүү цилиндрдин дубалды (түтүктүү) карап көрөбүз. Материалдын жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти туруктуу. Ички жана тышкы үстүңкү беттер t1 жана t2 туруктуу температурада кармалып турат, бирок да, t1 t2 температура радиалдуу τ багытта гана өзгөрөт. Буга ылайык, бул жердеги температуралык талаа бир өлчөмдүү болот, ал эми түтүк менен жалпы окко ээ болгон изотермикалык үстүңкү бет цилиндрдик болот.

Дубалдын ичинен айланасы τ, жоондугу dτ болгон шакек сымал катмарды бөлүп алабыз. Андай болсо, бир эле ошол туруктуу жылуулук агымы аркылуу өтүүчү үстүңкү бетти бирдей деп кабыл алууга жана бул элементардык катмарды жалпак дубал катары кароого болот. Температуранын ар түрдүүлүгү да чексиз аздыкта жана dt барабар болот.

Фурьенин мыйзамы боюнча: же шакек сымал катмар үчүн: .

Өзгөрүлмөлүүнү бөлүп, төмөнкүнү алабыз:

Теңдеменин сол бөлүгүн t1 ден баштап t2 чейин жана оң бөлүгүн ден чейин жана =const учурунда интегрлөө менен төмөнкүнү алабыз:

Акыркы теңдемеден жылуулук агымынын чоңдугун беребиз:

Жылуулук агымы түтүктүн узундугунун бирдигине жана 1 м2 ички же сырткы үстүңкү бетке жана тиешелүү болушу мүмкүн. Анда, эсептөө формулалары төмөнкүдөй көрүнүшкө ээ болот:

Аналогия боюнча эсептөө формуласын n – катмарлуу дубал үчүн төмөнкүчө жазууга болот:

Катмарлардын тийишүүсүнүн үстүңкү бетинин белгисиз температураларынын жана маанисин төмөнкү теңдемелер системасынан аныкташат:

***Маселе 11.*** Узундугу L, ички диаметри жана сырткы диаметри d2 болгон түтүктүн тышкы бетинин температурасын кантип аныктаса болот. Эгерде түтүктүн сырткы бетинин Qτ болгон жылуулук агымы өтөт, түтүктүн ички бетинин температурасы tc1.

2 учурду карайбыз:

а) болот түтүгү λс= 50Вт/м\*К;

б) бетон түтүгү λδ=0,8 Вт/м\*К.

Берилиши табл.4.

Таблица 8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Z | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| d1, м | 0,13 | 0,44 | 0,15 | 0,36 | 0,17 | 0,28 | 0,19 | 0,50 | 0,21 | 0,32 |
| tc1, 0С | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 |
| d2, м | 0,39 | 0,55 | 0,38 | 0,60 | 0,36 | 0,39 | 0,41 | 0,63 | 0,45 | 0,46 |
| L, м | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 |
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Qτ, Вт | 2000 | 2250 | 2500 | 2750 | 3000 | 3250 | 3500 | 3750 | 4000 | 4250 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 |
| Варианттын акыркы санынын алдынкысы | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Текшерүүчү  суроолор | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 |

**Текшерүүчү суроолор**

83. Жылуулук өткөрүмдүүлүк деп эмнени айтабыз?

84. Жылуулук агымы жана жылуулук агымынын тыгыздыгы деген эмне, алардын өлчөмү кандай болот?

85. Температуранын градиенти деген эмне, аны өлчөө бирдиги кайсы?

86. Фурьенин мыйзамын түзгүлө жана теңдемеге салгыла.

87. Фурьенин мыйзам теңдемесиндн эмне үчүн минус белгиси турат?

88. Жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти деген эмне, анын сандык мааниси жана өлчөмү кандай?

89. Температура талаасы деп эмнени айтабыз? Эки ченемдүү стационардык эмес температуралык талаанын теңдемесин жазгыла.

90. Жалпак беттүү бир жана көп катмарлуу дубал аркылуу өтүүчү жылуулук агымын кантип аныктоого болот?

91. Цилиндр түрүндөгү бир жана көп катмарлуу дубалдын жылуулук өткөрүүчүлүк теңдемесин келтиргиле.

92. Жылуулук өткөрүмдүүлүк жана жылуулук каршылыгы деп эмнени айтабыз?

93. Эмне үчүн цилиндр түрүндөгү дубал үчүн жылуулук агымынын түз сызыктуу тыгыздыгы аныкталат?

94. Жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти газдардын молекуллярдык массасына көз каранды болобу, болсо эмне үчүн?

95. Чайнектин ички түбүн эки катмарлуу жалпак беттүү дубал катары кароо менен каткан тунманы кетирүү зарылдыгын түшүндүрүп бергиле?

96. Нымдуу буунун жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти чоңбу же өтө ысытылгын буунун жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти чоңбу?

97.Жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти телодогу температуранын градиентине жана жылуулук агымынын тыгыздыгына көз каранды болобу?

98. Газдын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентинин температурага жана басымга болгон көз карандысын аныктагыла?

99. Түрлүү эмес эки өлчөмдүк температура талаасын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициентин дифференциалдык теңдемесин жазгыла?

100. Газдын жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти анын молекулярдык салмагына көз карандыбы эмне үчүн?

101.Жылуулук өткөрүүмүлүк, жылуулук өткөрүүмдүлүк коэффициентинен эмне менен айырмаланат?

102. Изотермикалык бет боюнча жылуулук берилиши мүмкүнбү, эмне үчүн?

***Глава 9. Конвективдүү жылуулук алмашуу***

***Ньютон-Рихмандын закону. Жылуулук берүү коэффициенти, анын физикалык мааниси жана ар түрдүү факторлорго көз карандылыгы. Окшоштук теориясы жөнүндө түшүнүк. Окшоштуктун критерийлери. Эркин жана аргасыз конвекциялар үчүн критериалдык теңдемелер. Критериалдык теңдемелер менен иштөөнүн эрежелери. Эркин жана аргасыз конвекция учурундагы жылуулук кайтарылышынын коэффициентин аныктоо. Жылуулук агымын аныктоо.***

***9.1. Ньютон-Рихмандын закону. Жылуулук берүү коэффициенти, анын физикалык түшүнүгү жана ар түрдүү факторлордон болгон көз карандылыгы.***

***Жылуулук берүү коэффициенти***

Кыймылдагы суюктук менен катуу дубалдын үстүңкү бөлүгүнүн ортосундагы конвективдүү жылуулук алмашуусу Ньютон-Рихмандын закону менен жазылып берилет жана ал төмөнкүдөй көрүнүшкө ээ болот:

а) жылуулук агымы үчүн: (1)

б) жылуулук агымдын тыгыздыгы үчүн: (2)

бул жерде – жылуулук берүүнүн коэффициенти деп аталган пропорционалдуулук коэффициенти болуп эсептелет.

Ньютон-Рихмандын законуна ылайык, жылуулук берүү процессиндеги жылуулук агымы жылуулук алмашуу аянтына *F* жана дубалдын үстүңкү бети менен суюктуктун ортосундагы температуранын ар башкалыгына түз пропорционалдуу болот.

– жылуулук берүү коэффициенти (Вт/м2·0С) – жылуулук алмашуунун интенсивдүүлүгүн мүнөздөйт жана дубал менен бир градус суюктуктун ортосундагы температуранын ар түрдүүлүгү учурунда убакыт бирдиги ичинде үстүңкү беттин бирдигинен берилген жылуулук санына сандык жактан барабар болот:

Жалпы учурларда жылуулук берүүнүн коэффициенти суюктуктун физикалык касиеттеринен, суюктуктун кыймыл ылдамдыгынан, суюктук агымынын мүнөзүнөн, катуу заттардын формасы менен көлөмүнөн жана башка параметрлерден көз каранды болот:

бул жерде *х* – суюктук кыймылынын мүнөзү.

Жылуулук алмашуунун ар башка чекиттеринде жылуулук берүүнүн коэффициенти – – ар башкача болушу мүмкүн. Ошондуктан, жылуулук берүүнүн жергиликтүү (локалдуу) коэффициент түшүнүгү киргизет. Жылуулук эсептөөлөрүн ачып көрсөтүү үчүн көп учурда жылуулук берүүнүн орточо коэффициенти колдонулат.

Жылуулук берүү коэффициентинин көлөмүнө жылуулук алмашуунун үстүңкү бетине жакын суюктук агымынын шарты чечүүчү мааниге ээ болот. Кыймылдуу чөйрөнүн кыймылдоо себептерине байланыштуу жылуулук берүүнү – табигый (эркин) кыймыл учурундагы жылуулук берүү жана аргасыз кыймыл учурундагы жылуулук берүү деп ажыратышат.

Суюктуктун эркин кыймылы анын жылышына жана тыгыздыгынын өзгөрүшүнө байланыштуу пайда болот, ал эми суюктуктун аргасыз кыймылы жасалма түрдө түзүлөт.

***9.2. Суюктук кыймылынын режими***

Чөйрөнүн кыймыл ылдамдыгына, кинематикалык илээшкектин коэффициентине жана катуу телонун бөлүнүп түшүү шарттарынын көз карандылыгына жараша кыймылды 2 режимге бөлүшөт – ламинардуу жана турбуленттүү:

а) суюктуктун ламинардык кыймылы учурунда анын бардык бөлүкчөлөрү катмарлар боюнча тынч, катары менен, бири-бирине жанаша кыймылдайт, бирок алардын ылдамдыгы ар башкача болот.

Бул учурда бир куюлуштан экинчи куюлушка жылуулуктун берилиши жылуулук өткөрүмдүүлүгү боюнча гана болот. Суюктуктун жылуулук өткөрүмдүүлүгү жогору болбогондугуна байланыштуу бардык масса боюнча жылуулуктун тарашы ламинардык агымда жай өтөт.

б) Суюуктук кыймылынын турбуленттик режими учурунда – чөйрө чачкындуу жана айлампа түрүндө кыймылдайт, ал эми айрым катмарларды аралаштырууда жана аралашууда күчтүү кыймылда болот. Буга ылайык жылуулукту алып жүрүү конвекция менен ишке ашат. Бирок, суюктуктун бөлүкчөлөрүн мындай алмаштырууда жана аралаштырууда алардын кагылышуулары болот, башкача айтканда, жылуулук өткөрүмдүүлүк ордуна ээ болот. Ошондуктан турбуленттүү режим учурундагы жылуулук берүү коэффициенти ламинардык режим учурундагыга караганда чоңураак болот.

***9.3. Окшоштук теориясынын негиздери***

Конвективдүү жылуулук алмашуу дифференциалдык теңдемелер системасы жана чоң сандагы өзгөрүлмөлүү бир маанилүүлүктүн шарттары аркылуу ачылат.

Окшоштук теориясынын жардамы менен ченемдүү, физикалык чоңдуктарды ченемсиз комплекстерге бириктирүүгө, ал эми бул алынган ченемсиз комплекстерди жаңы өзгөрүлмөлүү катары кароого болот. Окшоштук теориясы ошондой эле лабораториялык изилдөөлөрдүн жыйынтыктары учурундагы шарттарды да орнотот, бул жыйынтыктарды каралып жаткан кубулушка окшош болгон башка кубулуштарга жайылтууга болот. Окшоштук теориясынын негизги жобосун үч теореманын негизинде жоболоштура алабыз.

1 – теорема: Окшош процесстер өз ара бирдей окшошуу санына ээ болушат.

2 – теорема: Кандайдыр бир процессти мүнөздөй турган өзгөрүлмөлүүлөрдүн ортосундагы көз карандылык окшошуу сандарынын ортосундагы көз карандылыктын көрүнүшүндө берилиши мүмкүн *К1, К2, ...Кn* *f(К1, К2, ...Кn* )=0.

Көрүнүштүн көз карандылыгы окшоштуктун теңдемеси деп аталат.

3 – теорема: окшош болгон бир маанилүүлүктүн шарттары, бир маанилүүлүктүн шарттарына кирген чоңдуктардан түзүлгөн окшоштуктардын саны, сандык маанилер – булар окшош процесстер болушат.

Бир маанилүүлүктүн шарттарына кирген чоңдуктардан гана түзүлгөн окшоштук саны, башкача айтканда, көз каранды эмес өзгөрүлмөнүн функциясы катары эсептелбеген чоңдуктар окшоштуктардын аныктагычы же критерийи деп аталат. Ал эми башка чоңдуктарды камтыган жана бир маанилүүлүктүн шарттарына кирбеген окшоштук сандары аныкталуучу деп аталат. Аргасыз жана эркин конвекция учурундагы жылуулук алмашуу ар башка агып өтөт.

***9.4.Эркин жана аргасыз конвекциялар үчүн***

***критериалдык теңдемелер***

Окшоштук теориясынын мааниси төмөндөгүдө: окшоштук критерийлерин өз ара байланыштырып турган критериалдык теңдемелер чыгарылып (чечилип) жатат. Критериалдык теңдеменин көрүнүшү конвективдүү жылуулук алмашуунун агып өтүү шарттарынан көз каранды болуп эсептелет.

Конвективдик жылуулук алмашуу үчүн жалпы критериалдык теңдеме төмөнкүдөй көрүнүшкө ээ:

1. **Нуссельттин саны – *Nu***:

Нуссельттин саны конвективдик жылуулук алмашуунун интенсивдүүлүгүн мүнөздөйт. Мында: – жылуулук берүү коэффициенти; – суюктуктун жылуулук өткөрүмдүүлүк коэффициенти; о – сызыктуу ченемди аныктагыч.

2. **Рейнольдстун саны – *Rе*** – аргасыз конвекция учурундагы суюктуктун кыймыл режимин мүнөздөйт;

бул жерде – суюктук кыймылынын орточо (сызыктуу) ылдамдыгы, м/с; – суюктуктун кинематикалык илээшкектиги, м2/с.

3. **Прандтльдын саны – *Рr*****–** суюктуктун физикалык касиеттерин мүнөздөйт;

, бул жерде – суюктуктун температура өткөрүүчүлүк коэффициенти.

4. **Грассгофтун саны – *Gr*** – эркин кыймылдагы суюктуктун интенсивдүүлүгүн мүнөздөйт;

, бул жерде – көлөмдүк кеңейүүнүн температуралык коэффициенти: ; 1/К; – эркин кулап түшүүнүн ылдамдыгы, м/с2; – температуралык кысым, оС.

***9.5.Жылуулук берүүнүн аныктоо******тартиби***

Жылуулук берүү коөффициентинин сандык мааниси төмөнкү тартип боюнча эсепке алынат:

1. Кыймылдуу чөйрөнүн табигый кыймылы учурунда критерий *Gr* аныкталат. Чөйрөнүн аргасыз кыймылы үчүн *Rе* критерийи аныкталат.

2. *Rе*же *Gr*·*Рr* эсептелинген маанилери боюнча газдын же суюктуктун кыймыл режимин аныкташат:

а) ламинардык;

б) турбуленттик.

3. Жылуулук берүүнүн бул түрү үчүн жана чөйрөнүн кыймыл режими үчүн адабияттардан айкын критериалдык көз карандылыктарды тандап алышат: Мисалы, жылуулук берүүдөгү жалпак дубалдын бети боюнча болгон суюктуктун аргасыз кыймылы учурунда жалпылаштырылган критериалдык теңдеме төмөнкүдөй түрдө кабыл алынат:

бул жерде – жалпак дубалдын узундугунун аныктагыч ченеми болуп эсептелээрин көрсөтүп турат;

индекс *ж* – суюктуктун температурасы, температураны аныктай тургандыгын көрсөтүп турат.

4. *Nu* – сандык маанисин эсептеп чыгып, формуласы боюнча аныкташат. Мисалы, суюктуктун ламинардык агымы учурунда теңдеме төмөнкүдөй көрүнүштү кабыл алат:

Турбуленттик агым учурунда:

мамилеси – температуралык кысымды (*tст – tж*) эске алып турат.

***9.6. Жылуулук берүүнүн түрлөрү***

1. Чөйрөнүн аргасыз кыймылы учурунда:

а) түтүктүн ичинде;

б) жалпактуулуктун бетинде.

2. Чөйрөнүн табигый кыймылы учурундагы жылуулук берүү:

а) туура түтүктөрдүн жана үстүңкү беттин айланасында;

б) тике үстүңкү беттердин айланасында.

3. Суюктуктун кайнаган учурундагы жана буунун конденсация учурундагы жылуулук берүү.

***Маселе 12.***  Түз жаткан узундугу L=1,5м, диаметри d,мм, бетинин температурсы tc, 0С болгон түтүк аркылуу сууну ысытат. Түтүктүн тышкы жагынан алысыраак жерде температура tж=200С. Түтүктөн сууга берилген жылуулук санын аныктагыла.

Берилиши табл.9.

Таблица 9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| d,мм | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 |
| Z | 0 | 1 | 2 |  | 3 | 4 | 5 | 67 | 8 | 9 |
| tc, 0C | 100 | 90 | 85 | 80 | 99 | 89 | 81 | 75 | 79 | 71 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 |
| Варианттын акыркы санын алдынкысы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 |

**Текшерүүчү суроолор**

103. Конвективдүү жылуулук берүү деген эмне?

104. Конвекция деген эмне жана ал кандай түрлөргө бөлүнөт?

105. Чек аралык катмар деген эмне жана анын кандай түрлөрү бизге белгилүү?

106. Суюктуктун кыймыл режими кандай болушу мүмкүн?

107. Конвективдүү жылуулук алмашуунун негизги мыйзамы кайсы?

108. Жылуулук берүү коэффициенти деп эмнени айтабыз, анын өлчөмү кандай жана α кайсы чоңдукка көз каранды болот?

109. Эмне үчүн жылуулук берүү коэфициенти туурасынан турган пластинанын үстүнкү бети боюнча өзгөрөт?

110. Кыймыл чөйрөсүнүн кайсы режиминде жылуулук берүү коэфициенти көп болот жана эмне үчүн?

111. Жылуулук берүү коэффициентин аныктоо үчүн эмне себептен окшоштук теориясын колдонот?

112. Аныктагыч температура жана аныктагыч өлчөм деп эмнени айтабыз?

113. Рейнольдстун саны кайсы учурда аныкталат?

114. Грасгофтун саны качан жана кантип аныкталат?

115. Эмне үчүн суюктуктагы жылытылган тело абадагыга караганда тез сууйт, ал тургай аба менен суюктуктун температурасы бирдей болгон учурда да?

116. Эмне үчүн боодогу түтүктүн шахмат түрүндө жайгашуусу конвективдик жылуулук алмашууну жакшыртууга шарт түзөт?

117. Эмне үчүн көбүктөнүп кайноо учурунда каймактанып кайноого караганда, жылуулук берүү коэффициенти көбүрөөк болот?

118. Абанын тыгыздыгы анын температурасынан кандай көз каранды?

119. Абанын чек аралык катмары деп эмнени түшүнүүгө болот?

120.Эркин конвекциянын негизги түшүндүрмөлөрүн айтып бергиле?

121.Кыймылдуу чөйрөнүн чек аралык катмарлары кандай аныкталат.

122. Ньютон-Рихмандын законун жазып түшүндүргүлө?

***10. Глава. Нурлануу аркылуу жылуулук алмашуу***

***Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар. Жылуулук нурлануусунун негизги закондору. Катуу телолордун ортосундагы нурлануулар аркылуу жылуулук алмашуу. Газдардын жылуулук нурлануусу. Жылуулук нурланууларынан коргонуу (экрандар).***

***10.1. Негизги түшүнүктөр жана аныктамалар***

**Жылуулук нурлануу –** электромагниттик толкундардын жардамы менен жылуулук энергиясынын таралыш процесси болуп эсептелет. Бул учурда энергия фотондор менен берилет. Нурлануу энергиясы үчүн энергиянын эки түрдүү пайда болуусу мүнөздүү болот, атап айтканда, телонун ички энергиясы нурлануу энергиясына өтөт, ал курчап турган телолордун үстүңкү беттерине кабылуу менен бул күчтөрдүн жылуулук энергиясына айланат.

*Жылуулук нурдануу бардык телолорго тиешелүү сапат: катуу, суюк, газ түрүндөгү, эгерде, алардын температурасы 0 оК ден жогору болсо.*

Мейкиндикте эркин жайгашкан телолордун ортосундагы нурдануу менен жылуулук алмашуу үзгүлтүксүз жүрүп турат. Жылуулук өткөрүүчүлүк жана конвекция процесстери температурадан көз каранды экендигин белгилеп коюу зарыл. Ушуга байланыштуу төмөнкү температурада жылуулук өткөрүүчүлүк менен конвекциянын эсебинен улам жылуулук алмашуу негизги ролду ойношу мүмкүн, ал эми жогорку температурада – жылуулук жеткирүүнүн негизги ыкмасы жылуулук нурдануу болушу мүмкүн.

*Нурдануу учурундагы нурдануу процесстери нурдануунун интегралдык агымы Q, Вт жана нурдануунун спектралдык агымы Qλ, Вт/м деген түшүнүктөрдү киргизет.*

*Нурдануунун интегралдык агымы деп, спектрдин бардык багыттары боюнча жана толкундардын бардык узундуктары боюнча телонун үстүңкү бетиндеги нурдануунун суммардык энергиясын аташат.*

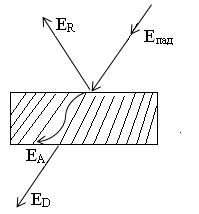
*Нурдануунун спектралдык агымы деп, телонун үстүңкү бетинде убакыт бирдигиндеги бардык багыттар боюнча λден баштап λ+Δ λ чейинки толкун узундугунун чексиз кичине интервалына тиешелүү болгон нурдануунун суммардык энергиясын аташат. Ошондуктан:*

*Нурдануу агымы менен бирдикте агымдын тыгыздыгы – Е, Вт/м2 деген түшүнүк киргизилет.*

*Бир секунда ичинде бардык багыттар боюнча телонун үстүңкү бетиндеги инфра кызыл 1 м2 диапазондук толкундар менен (электромагниттик) чогуу нурданган жылуулук саны нурдануучулук жөндөмү же нурдануу агымынын тыгыздыгы деп аталат.*

Ар түрдүү телолордун нурдануусу ар башка болот жана ал негизинен нурданып жаткан телонун температурасына, телонун үстүңкү бетинин абалына жана анын физикалык касиетине көз каранды, ал эми газ түрүндөгүлөр ошондой эле катмардын калыңдыгы менен басымга да көз каранды болушат.

Телонун үстүңкү бетине түшкөн нурдануу агымы *кулаган нурдуу энергия* деп аталат, алар бөлүк-бөлүгү менен жутулат (телонун жутуучулук жөндөмү – *А* – менен аныкталат), бөлүк-бөлүгү менен чагылдырылат (телонун чагылдыргыч жөндөмү – *R* – менен аныкталат), бөлүк-бөлүгү менен телону тешип өтөт (телонун өткөрүп жиберүүчүлүк жөндөмү – *D* – менен аныкталат).



Энергияга ылайык:

ошондуктан

1. Эгерде болсо, анда тело абсолюттук кара тело деп аталат.

2. Эгерде болсо, анда тело абсолюттук ак тело деп аталат.

3. Эгерде болсо, анда тело абсолюттук ачык түз деп аталат.

Бирок жаратылышта а.к.т. же а.а.т. же а.а.т. болбойт.

# [Введите название боковой полосы]

Баардык чыныгы телолордун үстүңкү бети бөлүк-бөлүгү менен жутулат жана бөлүк-бөлүгү менен нурдануу агымын чагылдырат.

Жутуп алуучулук жөндөмү A үчүн 1ден кичине жана нөлдөн айырмаланган тело боз тело деп аталат. Баардык чыныгы бар телолор – боз телолор болушат. Катуу телолордун мүнөздөмөсү үчүн – каралык даражасы деген түшүнүк киргизилет.

Каралык даражасы – – деп, ошол телонун нурдануу энергиясынын бирдей жана ошол эле температурадагы а.к.т. нурдануу энергиясына болгон мамилесин айтабыз.

бул жерде индекс “0” чоңдук а.к.т. тиешелүү экендигин билдирет, а.к.т. үчүн , боз тело үчүн .

1. – ошондой эле катуу телолордун жутуп алуучулук жөндөмүн да аныктайт. Телонун жутуп алуучулук жөндөмүн жогорулатуу үчүн алардын үстүңкү бетин нефтиден алынган күңүрт бүдүрлүү боек менен жаап коюшат.

2. Эгерде жана чагылдыруу диффузиялык болсо, тактап айтканда түшүп жаткан нур чагылдыруу учурунда көптөгөн нурларга ажыратылган болсо, анда жогорку бетти абсолюттук ак деп аташат.

Эгерде жана чагылдыруу процесси оптиканын мыйзамына баш ийсе, анда үстүңкү бетти абсолюттук күзгүдөй деп аташат.

3. болгон телону абсолюттук өткөргүчтүү же диатермикалуу деп аташат.

Жылуулук техникалык эсептөөлөрдө катуу жана суюк телолор үчүн адатта . кабыл алышат, кургак жана таза аба үчүн кабыл алышат.

***10. 2. Жылуулук нурдануусунун негизги закондору***

**1. *Планктын закону* -**  абсолюттук кара телонун жана баардык чыныгы телолордун нурдануу тездиктиги толкундун температурасына *Т* жана узундугуна көз каранды болот:

ℓ -1

бул жерде Вт·м2 – Планктын биринчи туруктуусу; м·К – Планктын экинчи туруктуусу; ℓ - нагыз логарифмалардын негизи; T, K – нурданып жаткан телонун температурасы.

**2. *Виндин закону.*** Нурдануу тездигинин эң жогорку мааниси

формуласы боюнча аныктала турган толкундун узундугуна дал келет.

**3. *Стефан-Больцмандын закону*.** Абсолюттук кара телонун нурдануусу анын абсолюттук температурасынын төртүнчү баскычына пропорционалдуу болот. , бул жерде Вт/м2·К4 – абсолюттук кара телонун нурдануу коэффициенти болуп саналат.

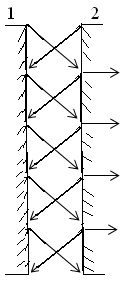
**4. *Кирхгофтун закону***. Бирдей жана ошол эле температура учурунда боз телонун каралык даражасы жутулуу коэффициентине барабар болот: .

**5. *Ламберттин закону***. Эң жогорку нурдануу үстүңкү бетке карата нормалдын багытында орунга ээ болот: .

***10.3. Катуу телолордун ортосундагы нурдануу аркылуу жылуулук алмашуулар.***

1. Эки жалпак жана параллелдүүжайгашкан дубалдардын ортосундагы нурдануу аркылуу жылуулук алмашуусу.

Жылуулук алмашуу эки жалпак пластинкалардын 1 жана 2 ортосунда болуп өтөт.



Дубалдар жылуу тунук чөйрө менен бөлүнгөн: дубалдардын температурасы жана , мында ; нурдануунун үстүңкү беттеги аянты дал келет.

Дубалдардын ортосу аркылуу берилүүчү жылуулуктун саны:

формуласы боюнча аныкталат, бул жерде: Вт/м2·К4 – абсолюттук кара телонун коэффициенти.

параллелдүү жайгашкан эки телонун келтирилген каралык даражасы; жана – телонун каралык даражасы.

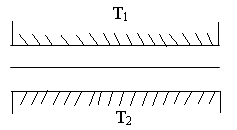
Эгерде, бир тело башка телонун ичинде жайгашкан болсо, анда келтирилегн каралык даражасы төмөнкүчө аныкталат:

бул жерде: жана телонун үстүңкү бети болот.

***10. 4. Жылуулук нурдануусунан коргонуу (экрандар)***

Нурдануу аркылуу жылуулук алмашууну азайтуу үчүн өки үстүңкү беттин ортосуна экрандар орнотулат.

*Чоң чагылдыргыч жөндөмү бар ичке металл лист экран деп аталат*.



мында көрүнүп тургандай, бир экрандын орнотулушу менен нурдануу аркылуу жылуулук берүү эки эсеге азаят, ал эми *n* экранды орноткон учерда – *n+1* эсеге азаят.

Эгерде каралык даражасы аз болгон экрандарды колдонсо, анда нурдануу аркылуу жылуулук алмашуу андан да аз болот.

Эгерде, каралык даражасы бар эки жалпак үстүңкү беттин ортосуна каралык даражасы бар *n* экрандары орнотулса, анда

***Маселе 13*.** Эки жарыш жайгашкан жалпактын ортосунда жылуулук нур аркылуу алмашат. Беттин температурасы = 250\*N 0С, каралык даражасы=0,5\*Z беттен бөлөк бетке жылуулук саны температурасы кандай өзгөрүшүн аныктагыла, эгер анын каралык даражасы

Таблица 10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 |
| Варианттын акыркы санынын алдынкысы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 |

**Текшерүүчү суроолор**

123. Нурлануу деген эмне?

124. Кайсы нурлар жылуулук нурлары деп аталат?

125. Кандай нурлануулар монохроматикалык жана интегралдык нурлануу деп аталат?

126. Кандай телолор аябай кара, ак жана тунук деп аталат?

127. Караруу даражасы деген эмне жана алар кандай өлчөмдө өзгөрөт?

128. Кандай тело боз тело деп аталат?

129. Селективдик нурлануу деген эмне?

130. Кандай телолор нур чыгаруунун бүтүндөй спектрлерине ээ болушат?

131. Планктын мыйзамы жана анын графикалык көрүнүшү.

132. Виндин мыйзамы.

133. Стефана-Больцмандын мыйзамы. Аябай кара телонун нур чыгаруу коэфициенти.

134. Кирхгофтун мыйзамы.

135. Нур чыгаруу аркылуу катуу телолордун ортосундагы жылуулук алмашуу.

136.Экран деген эмне жана нур чыгаруу аркылуу жылуулук алмашууга экрандаштыруу кандай таасир берет?

137. Нур жылуулук алмашуга мисалдарды келтиргиле.

138. Каралыктын даражасынын жана келтирилген каралыктын даражасынын физикалык маанилери кандай?

139. Стефан-Больцмандын мыйзамын түшүндүргүлө.

140.Нерсенин жылуулукту чыгарып таратуу коэффициенттин жана каралыктын деңгелинин ортосундагы байланыш барбы?

141. Кирхгофтун мыйзамын чечмелеп бергиле

142. Нурдануу коэффициенти кандай факторлордон көз каранды болот?

***Глава 11. Жылуулук алып берүү***

***11.1. Стенкалар аркылуу жылуулук алып берүү***

Жылуулукту катуу стенка аркылуу ысытылган жылуулукту ташыгычтан муздак жылуулук ташыгычка ташуу процессин карап чыгууда, маселе мурдагыдан да татаалдашып кетет. Бул жерде процесс каралып жаткан элементардык кубулуштардын аракетинин жыйындысы менен аныкталат. Мисал катары буу генераторлорун карап чыксак болот.

Бул жерде жылуулукту ысык газдардан суу кайнаткыч түтүктөрдүн сырткы бетине ташуу жылуулук өткөрүүчүлүктүн, конвекциянын жана жылуулук нурлануунун натыйжасында ишке ашырылат; түтүктүн капталы аркылуу – жылуулук өткөрүүчүлүк; сууга ички бетинен – конвекция жана жылуулук өткөрүүчүлүк аркылуу. Мына бул жерде, жылуулукту ташуу жалпы процессинин жекече шарттары жылуулук өткөрүүчүлүк, конвекция жана жылуулук нурлануу экени көрүнүп турат.

Бул процесстин сандык мүнөздөмөсү болуп жылуулукту берүү коэффициенти *k* эсептелет, анын маанисин бир суюктуктун бетинен экинчисине, алардын ортосундагы температуранын айырмасы бир градус болгон убакыт бирдигинде, капталдын бетинин бирдиги аркылуу берилген жылуулук саны аныктай. Ушуну менен бирге эле эсептик формула төмөндөгүдөй түргө ээ болот:

Жылуулук алып берүү татаал процессинин физикалык жагы толугу менен жылуулук өткөрүүчүлүк, конвекция жана жылуулук нурлануу кубулуштары менен аныкталат, ал эми жылуулук берүү коэффициенти сандык болуп, процесстин таза эсептик мүнөздөмөсү гана болуп эсептелет. Жылуулук алып берүү коэффициенти бир жагынан, жылуулук өткөрүүчүлүк жана жылуулук берүү коэффициенттеринин ортосундагы өз ара байланыш экинчи жагынан, ысык суюктукту муздактан бөлүп турган капталдын формасынан көз каранды; бул байланыш төмөндө каралат.

***11.2. Стенкалар аркылуу жылуулук алып берүү***

**Бир кабаттуу жалпак стенка.** Жылуулук өткөрүүчүлүгү λ жана калыңдыгы δ коэффициентине ээ болгон бир тектүү жалпак стенка берилди дейли. Стенканын бир жагында температурасындагы ысык, ал эми башка жагында температурасындагы муздак чөйрө жайгашкан. Капталдын беттеринин температуралары белгисиз, аларды жана тамгалары менен белгилеп коёбуз (сүр. 6-2). ысык жагындагы, муздак *жагындагы* жылуулук алып берүүнүн суммардык коэффициентинин мааниси берилген.

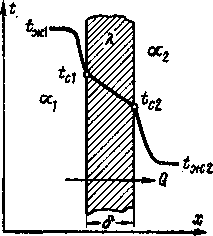
Белгиленген жылуулук абалындагы ысык суюктуктан стенкага берилген жылуулуктун саны, стенка аркылуу берилген жылуулуктун санына жана стенкадан муздак суюктукка берилген жылуулуктун санына барабар. Демек, *q жылуулук агымынын тыгыздыгы үчүн үч туюнтманы жазууга болот:*

Бул теңдемелерден кысымдарга карата жекече температуралыктар аныкталат, тактап айтканда:

Аларды кошуп, жаңы температуралык кысым алабыз:

Андан жылуулук агымынын тыгыздыгынын маанисин

жана жылуулук алып берүү коэффициентинин маанисин аныктайбыз 6-2-сүр.



Бир катмарлуу жалпак стенка аркылуу жылуулук алып берүү - жылуулук ташыгычтардагы жана аларды бөлүп турган стенкалардагы температуранын өзгөрүшүнүн мүнөзү.

Мына ошентип жалпак стенка үчүн *k* жылуулук алып берүүнүн коэффициентинин маанисин эсептеп чыгуу үчүн, ал стенканын калыңдыгын, жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициентин , жана жылуулук берүү коэффициенттеринин маанилерин билүү керек.

Жылуулукту алып берүүчү коэффициентке тескери чоңдук ­ ­- *жылуулук алып берүүнүн жалпы термикалык каршылыгы* деп аталат. Ал теңдемеден бул чоңдук төмөнкүгө барабар:

Бул катыштан көрүнүп тургандай, жалпы термикалык каршылык жыштыктын суммасына барабар.

бул жерде — ысык жылуулук өткөрүүчүлүк жактан жылуулук берүүнүн жеке термикалык каршылыгы; — жылуулук өткөрүүчүлүктүн (стенканын) жеке термикалык каршылыгы;  *—*  муздак жылуулукту ташыгыч жактан жылуулуку берүүнүн жеке термикалык каршылыгы.

***11.3. Көп катмарлуу жалпак стенка.***

Бир нече каттан мисалы, эки каттан турган стенка каралат. жана каттарынын калыңдыгы, жана жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти. Бир жагынан температурасындагы ысык чөйрө, башка жагынан  температурасындагы муздак чөйрө жайгашкан. Ысык жагынан берилген жылуулук берүү кофициентинин суммардык мааниси , ал эми муздак жактан берилгендики .

Системанын бир калыпка келип калган жылуулук абалында жылуулук агымынын тыгыздыгы турактуу жана ошондуктан томөндөгүдөй жазууга болот:

Бул теңдемелерден жыштык температуралык басымдар аныкталат:

Теңдеменин оң жана сол жактарын өз өзүнчө кошуп, толук температуралык басымды алабыз:

алынгандан жылуулук агымдын тыгыздыгынын мааниси

жана эки каттуу жалпак стенканын жылуулук алып берүү коэффициентинин мааниси аныкталат

Бир жана көп каттуу стенка аркылуу жылуулук алып берүүдөгү температуралардын бөлүштүрүлүшү 6-2- жана 6-3-сүрөттөрдө берилген.

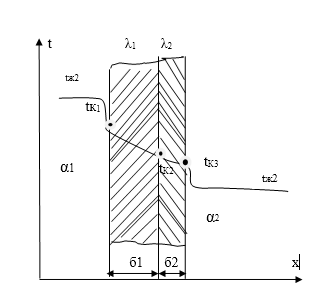
жана белгисиз температуралары төмөндөгү теңдемелерден аныкталышы мүмкүн (е):

Эгер калыңдыгы . . . , болгон бир нече каттан турса жана алардын жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти тиешелүү *түрдө* болсо, анда жылуулук алып берүүнүн жалпы термикалык каршылыгы

же

Бул учурда (6-5) теңдемеси төмөндөгү түргө:

же бул түргө келет:



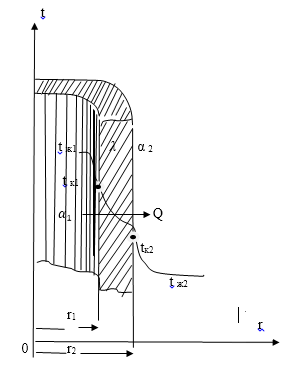
Стенканын температураларын графикалык түрдө да аныктоого болот. Мына ушундай ыкмалардын бири биринчи главада баяндалып берилген. Ошондуктан биз бул жерде ысык жана муздак чөйрөнүн термикалык каршылыгын, анык стенканын, ошондой эле жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициентке ээ болгон катуу стенканын термикалык каршылыгы менен алмаштырууга негизделген экинчисин карап өтөбүз.

Элестеткен стенканын тышкы бетинин температурасы тиешелүү түрдө жана ысык жана муздак стенканын температураларына барабар болсун (6-4-сүр.). Берилип жаткан жылуулуктун саны өзгөрбөстөн калат. Анда элестетилип жаткан стенканын жалпы калыңдыгы Δ катышынан аныкталат:

***11.4. Бир тектүү цилиндрдик стенка.***

Ички диаметри тышкы диаметри жана l узундуктагы цилиндрдик стенка (түтүк) берилсин. Түтүктүн стенкасы бир тектүү; жылуулук өткөрүүчүлүк коэффициенти . Түтүктүн ичинде температурасындагы ысык чөйрө, ал эми тышында температурасындагымуздак чөйрө бар. Стенканыны беттеринин температуралары белгисиз, аларды жана аркылуу белгилейли (6-6-сүр.) Демек, төмөндөгүдөй туюнтууга болот:

Бул катыштардан температуралык басымдын жыштыктары аныкталат:



(к) системасынын теңдемелерин кошуп, толук температуралык басымды алабыз:

(л) теңдемесинен жылуулук агымынын сызыктуу маанисин аныктайбыз:

бул жерден жылуулук алып берүүнүн сызыктуу коэффициенти (түтүктүн 1 м узундугуна) келип чыгат:

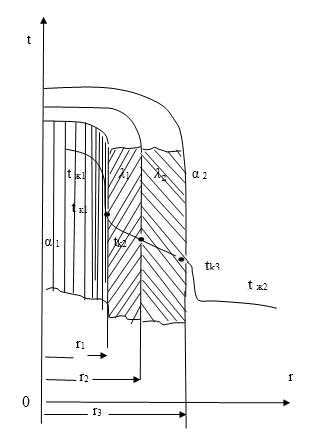
Жылуулук алып берүүнүн сызыктуу коэффициентине тескери чоңдук жылуулук алып берүүнүн сызыктуу термикалык каршылыгы деп аталат.

(6-9) теңдемесинен төмөндөгүнү алабыз:

Акыркысы жалпы термикалык каршылык стенканын жылуулук өткөрүүчүлүгүнүн термикалык каршылыгынын жыштыгынын жана жылуулук берүүнүн термикалык каршылыгынын суммасына барабар экенин билдирет. жана мааниси (к) теңдемеси менен аныкталат.

***11.5. Көп катмарлуу цилиндрдик стенка***

Бул учурда көп каттуу, мисалы эки каттуу, цилиндрдик стенка аркылуу жылуулукту өткөрүп берүүнү карап чыгабыз. Айрым каттар үчүн жылуулук өткөрүүчүлүк диаметрлери жана коэффициенттери белгилүү (6-7-сүр).



Ысык чөйрөнүн температурасы , муздак чөйрөнүн температурасы *.* Ысык чөйрө тараптан жылуулук берүүнүн коэффициенти , ал эми муздак чөйрө тараптан . Беттердин температуралары жана ошондой элеар түрдүү цилиндрдик каттардын тийишкен жериндеги температура белгисиз.

Системанын бир калыпка келип калган жылуулук абалында формуланы төмөндөгүдөй жазууга болот:

Бул теңдемелерден жыштык температуралык басымдар аныкталат:

Теңдеменин (н) оң жана сол жактарын кошуп, толук температуралык басымды:

жана жылуулук агымдын сызыктуу тыгыздыгын алабыз:

Бир каттуу жана көп каттуу цилиндрдик стенка аркылуу жылуулук алып берүү учурундагы температуранын бөлүштүрүлүшү 6-6- жана 6-7-сүрөттөрдө көрсөтүлгөн.

Эки катуу стенка үчүн жылуулук алып берүүнүн сызыктуу коэффициенти:

ал эми  *-* жалпы термикалык каршылык.

Түтүктүн көп каттуу стенкасы үчүн

жана

Стенканын , , , белгисиз температураларын аныктоо үчүн, маанисин (6-10) теңдемесинен (н) теңдемесине коюу керек. Аларды чыгаруудан төмөндөгүнү алабыз:

Катмардын ортосундагы температураны аныктоо биринчи главада баяндалып берилген. Түтүктөр үчүн жылуулук алып берүүнүн эсептик формулалары бир топ чоңдук кылат, ошондуктан практикалык эсептөөлөрдө кээ бир жөнөкөйлөтүүлөр колдонулат. Эгер стенканын калыңдыгы анчалык калыңдыкта болбосо, анда эсептөөлөрдө (6-8) формуласынын ордуна жалпак стенка үчүн (6-4) формула колдонулат жана ал бул учурда (1 м узундуктагы түтүккө карата колдонулганда) төмөндөгүдөй түргө келет:

бул жерде – (6-5) формуласы менен эсептелип алынган жалпак стенка үчүн жылуулук алып берүүнүн коэффициенти, — стенканын орточо диаметри; — анын диаметрлердин анча түрдүү эместигине барабар болгон калыңдыгы.

Ошону менен бирге эгер *>*0,5 болсо, анда эсептөөнүн каталыгы

4 % дан жогору болбойт. Эгер тандоодо төмөндөгү эрежени сактаганда бул каталык төмөндөйт:

1. эгер анда
2. эгер анда
3. эгер анда

атап айтканда (6-12) формуласы боюнча жылуулук алып берүүнү эсептөөдө ордуна, жылуулук берүү коэффициенти кичине мааниге ээ болгон диаметр алынат. Эгер жана жылуулук берүү коэффициенттеринин маанилери бирдей болсо, анда түтүктүн ички () жана тышкы () диаметрлеринин ортосундагы орточо арифметикалыккабарабар. (6-8) формуласы менен, ошондой эле (6-12) формуласы боюнча дагы эсептөөлөрдү жүргүзүүдө, салыштырмалуу аз каршылыктар менен эсептөөнү жеңилдетүү максатында барк албоо керек жана боло тургандыгы дайыма эсте болушу керек.

***Маселе 14***  Калыңдыгы 500 мм кыштан турган атайын камера (λк=0,3Вт/(м\*0С)) дубалы эки бети тең калыңдыгы 50 мм бетон менен капталган. Бетондун жылуулук өткөрүмдүүлүгү (λб=1,28,Вт/(м\*0С)). Ичиндеги газдын температурасы tср=500+N 0С. Газдын дубалга жылуулук берүү коэффициенти αвн =9,3\*Z Вт/(м2\*0С). Сырткы абанын температурасы t=20+N 0С, сырткы абага дубалдын жылуулук берүү коэффициенти αсырт=2,3\*Z Вт/(м2\*0С). Камеранын дубалы 1 м2 бетинин жылуулуктун коромжусун эсептегиле жана тийишкек беттин катмарынын температурасын аныктагыла.

Таблица 11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы санын алдынкысы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 |

**Текшерүүчү суроолор**

143. Жылуулук берүү деп эмнени айтабыз?

144.Жылуулук берүү учурунда жылуулук кандай ыкмалар менен берилет?

145. Жалпак дубалдын жылуулук берүү теңдемеси кайсы теңдеме менен баяндалып берилет?

146..Жылуулук берүү коэфициенти деген эмне жана ал цилиндр түрүндөгү дубал үчүн кандай болот?

147..Жылуулук берүүнүн жалпы термикалык каршылыгы деген эмне жана ал кайсы чоңдуктардан чогултулат?

148. Дубалдын үстүнкү бетиндеги температура кантип аныкталат?

149. Обочолонтуунун кооптуу делген жоондугу деп эмнени айтабыз?

150. Обочолонтуу жылуулуктун жоготуусун азайтуу үчүн кандай шарттар талап кылынат?

151. Жылуулук берүүнү иш жүзүндө кантип азайтууга болот?

152. Жылуулук берүүнүн турмуштагы мисалдарын келтиргиле?

***Глава 12. ЖЫЛУУЛУК АЛМАШУУ АППАРАТТАРЫ***

***12.1. Жалпы жоболор***

Жылуулук алмашуу аппараты деп бир жылуулукту ташуучудан экинчисине жылуулукту ташып берүү процесси ишке ашырылган түзүлүштөр аталат. Мындай аппараттардын саны өтө көп жана алар техникалык берилиши жана конструктивдик жасалгаланышы боюнча ар түрдүү. Жылуулук алмашуу аппараттары аракеттенүү принциби боюнча рекуперативдик, регенеративдик жана аралаштыруучу болуп бөлүнөт.

***Рекуперативдик***деп, жылуулук ысык жылуулук алып жүрүүчүдөн муздак жылуулук алып жүрүүчүгө аларды бөлүп турган стенка аркылуу берилген аппараттар аталат. Буга мисал буу генераторлору, жылыткычтар, конденсаторлор ж.б.

***Регенеративдик***деп, бир эле ысытылуучу беттин бирде ысык, бирде муздак жылуулук алып жүрүүчү менен жуулуп турган аппараттар аталат. Ысык суюктук өткөн мезгилде аппараттын стенкалары аркылуу жылуулук кабыл алынат жана ал жерде аккумуляштырылат, ал эми муздак суюктук өткөндө аккумуляштырылган жылуулук ал аркылуу кабыл алынат. Мындай аппараттарга мартен жана айнекти эритүүчү мештердин генераторлору, домна мештеринин абаны жылыткычтары мисал боло алат.

Рекуперативдик жана регенеративдик аппараттарда жылуулукту алып берүү процесси тикеден-тике катуу телонун бетине байланыштуу. Ошондуктан мындай аппараттар ***б е т т и к*** деп аталышат.

Аралаштыруучу аппараттарда жылуулукту алып берүү процесси ысык жана муздак жылуулукту алып жүрүүчүлөрдүн тийишүүсү жана аралашуусунун негизинде ишке ашырылат. Бул учурда жылуулукту алып берүү материалдык алмашуу менен бир убакта өтөт. Мына ушундай жылуулук алмашуунун мисалы болуп мунара муздаткычтары (градирни), скрубберлер ж.б. эсептелет.

Жылуулук алмашуу аппараттарынын атайы аттары алардын аткарган милдеттерине жараша болот. Мисалы, буу генераторлору, мештер, суу ысыткычтар, бууланткычтар, конденсаторлор, деаэраторлор ж.б.у.с. Бирок түрү, жасалышы, аракеттенүү принциби жана жумушчу телолору боюнча жылуулук алмашуу аппараттарынын көп түрдүүлүгүнө карабастан, алардын милдеттери акыр аягы бирдей, бул – жылуулукту бир ысык суюктуктан башка муздак суюктукка берүү. Ошондуктан алар үчүн жылуулук эсептөөлөрдүн негизги жоболору жалпы болуп кала берет.

***12.2. Рекуперативдик аппараттар***

Жылуулук эсептөөлөрдүн негизги жоболору. Жылуулук алмашуу аппаратынын жылуулук эсептөөлөрү конструктордук болушу мүмкүн, анын максаты – жылуулук алмашуу бетинин аянтын аныктоо жана текшерүү, ал учурда аппараттын иштөө режими орнотулат жана жылуулук алып жүрүүчүнүн акыркы температуралары аныкталат. Эки учурда тең негизги эсептик теңдемелер болуп төмөндөгү теңдемелер эсептелет:

жылуулук алып берүүчү

жана жылуулук балансынын теңдемеси

бул жерде

ысык жылуулукту алып жүрүүчүнүн берген жылуулугунун саны:

муздак жылуулукту алып жүрүүчүнүн кабыл алынган жылуулугунун саны;

– жылуулукту айлана-чөйрөгө жоготуу; – ысык жана муздак жылуулукту алып жүрүүчүлөрдүн массалык чыгымдары; – жылуулукту алып жүрүүчүлөрдүн энтальпиясынын өзгөрүүсү; – туруктуу басым учрундагы жылуулукту ташыгычтардын жылуулук сыйымдуулуктары; – аппараттан чыгуу жана кирүүдөгү ысык жылуулук ташыгычынын температурасы; – муздак жылуулук ташыгычтын анын аппараттан чыгуу жана кирүүдөгү температуралары.

Жылуулукту алып берүүнүн эсептик формулаларын чыгарууда (5-главаны карагыла) жылуулук алмашуу түзүлүшүндөгү берилген точкада жумушчу суюктуктун температурасы туруктуу деп кабыл алынган. Бирок бул жобо бүт бет үчүн, суюуктук кайнаганда жана буу конденсацияланганда гана болжолдуу туура. Жалпы учурда жылуулук алмаштыргычтардагы жумушчу суюктуктун температурасы өзгөрүлөт: ысык муздайт, ал эми муздак ысыйт. Ошону менен бирге алардын ортосундагы температуралык басым дагы өзгөрөт.

Мына ушундай шарттарда (8-1) жылуулук алып берүүнүн теңдемеси бетинин элементине карата дифференциалдык формада гана колдонулат, тактап айтканда:

.

Бүтүндөй бет боюнча берилген жылуулуктун жалпы саны бул туюнтманын интегралы менен аныкталат

Мына ушул жылуулук алып берүүнүн эсептик теңдемеси. Бул жерде ысытылган бүтүндөй бет боюнча температуралык басымдын орточо мааниси.

Жылуулук эсептөөлөрдө суу эквиваленти, Дж/(с·0С), Вт/0С: деп аталган чоңдук чоң маанисине ээ.

бул жерде - жылуулук ташыгычтын массалык чыгымы; - жылуулук ташыгычтын ылдамдыгы; - жылуулук ташыгычтын тыгыздыгы; - каналдын кесилишинин аянты.

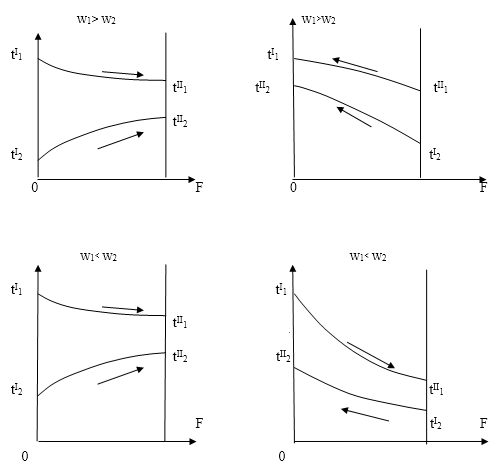
Эгер жылуулук балансты (8-2) теңдемесине койсо, ал төмөндөгү түргө келет:

мындан

Акыркысы жумушчу суюктуктардын температураларынын өзгөрүшүнүн катышы, алардын суу экиваленттеринин катышына тескери пропорционалдуу экенинин билдирет. Мына ушундай ара катыш ысытылган бүтүндөй бет жана анын ар бир элементи үчүн туура, б.а.

бул жерде жана беттин элементиндеги жумушчу суюктуктун температурасынын өзгөрүүлөрү.

Ысытылган бет боюнча жумушчу суюктуктардын температураларынын өзгөрүү мүнөзү алардын кыймылдарынын схемаларынан жана жана ара катышынан көз каранды. Эгер жылуулук алмашуучу аппаратарда ысык жана муздак суюктуктар бир багытта жана параллелдүү акса, анда кыймылдын мындай схемасы *п р я м о т о к* деп аталат (сүр. 12).



а) б)

Сүрөт 12.1. а) айкашкан ток; б) карама – каршы ток

Эгер суюктуктар параллелдүү, бирок карама-каршы багытта акса, анда к а р а м а -к а р ш ы ток (сүр. 12.1. б) деп аталат. Аягында, эгер суюктуктар туш-туш багыттан акса,

а й к а ш к а н ток деп аталат (сүр.12.1. а).

Прямоток болобу же карама-каршы ток болобу жүзөгө ашырылышына байланыштуу жана көп же кичинеби 12.1 сүрөтүндө көрсөтүлгөн ысытылгандын бети боюнча температуранын кыйшык өзгөрүүсүнүн төрт мүнөздүү жубу келип чыгат. Бул жерде абсцисс огу боюнча ысытылган беттин аянты , ал эми ординат октору боюнча жумушчу суюктуктардын температурасы көрсөтүлгөн.

(8-5) теңдемесине ылайык графикте температуранын өзгөрүүсү чоңдугунун мааниси аз суюктук үчүн жогору.

Графиктерди карап чыгуудан прямоток муздак суюктуктун акыркы температурасы ысык суюктуктун акыркы температурасынан дайыма төмөн болоору көрүнүп турат. Карама-каршы токто муздак суюктуктун акыркы температурасы ысык суюктуктун акыркы температурасынан жогору болушу мүмкүн. Демек, карама-каршы токто баштапкы температура бирдей болгондо прямотокко караганда аны бир топ жогорку температурага чейин ысытууга болот.

Прямотокто бет боюнча температуралык басым карама-каршы токко караганда күчтүүрөөк өзгөрөт. Ошону менен бирге карама-каршы токто температуралык басымдын орточо мааниси прямотокко караганда жогору. Карама-каршы токто так мына ушул фактордун эсебинен гана жылуулук алмаштыргыч компакттуу боло алат [(8-3) теңдемесин карагыла].

t

t′1

dt1

ʌt

t′′1

ʌt

af2 dt′′

t′′2

dt2

t′2

F

0

F af

Сүрөт 12.2. Формуланын жыйынтыгы боюнча

температуралык басымдын орточо мааниси

Бирок эгерде жумушчу суюктуктун биринин температурасы туруктуу болсо, кыймылдын схемасынан көз карандысыз температуралык басымдын орточо мааниси бир эле болуп чыгат. Суюуктук кайнаганда жана буулар конденсацияланганда, так ушундай болот, же бир жумушчу суюктуктун чыгымы ушунчалык көп болгондуктан анын температурасы өтө аз өзгөрөт.

Аппараттардын жылуулук эсептөөлөрүнүн жалпы теңдемелерин карап чыгып жана жылуулук алмаштыргычтардын температуралык иштөө шарттарын түшүнүп, (8-3) теңдемесине кирген чоңдуктарды кеңирирээк карап чыгалы.

***12.3. Орточо температуралык басым.***

### Температуралык басымды орточолотуунун формуласын чыгарууда прямотоктун схемасы боюнча иштеген жөнөкөй жылуулук алмашуу аппаратын карап чыгабыз. беттин элементи аркылуу ысык суюктуктан муздак суюктукка убакыт бирдигинде берилүүүчү жылуулуктун саны төмөндөгү теңдеме менен аныкталат:

Ошону менен бирге ысык суюктуктун температурасы төмөндөйт, ал эми муздак суюктуктуку жогорулайт. Демек,

бул жерден

Ошону менен бирге температуралык басымдын өзгөрүүсү

бул жерде

(д) теңдемесине (а) теңдемедеги маанини коюп, төмөндөгүнү алабыз:

аркылуу белгилеп, өзгөрүлмөлөрдүн бөлүнүүсүнө жетишебиз:

жана маанилери туруктуу болсо, анда (ж) теңдемесин интеграциялап, төмөндөгүнү алабыз:

же

андан

бул жерде - жылуулук алмашуунун бетинин элементине тиешелүү температуралык басымдын жергиликтүү мааниси.

(и) теңдемесинен ысытылган бет боюнча температуралык басым экспоненциалдык закон боюнча өзгөрө турганы көрүнүп турат. Бул законду билүү менен температуралык басымдын орточо маанисин оңой аныктоого мүмкүн. Орточо жөнүндө теореманын негизинде:

алабыз.

(к) теңдемесине жана коюп 8-3-сүрөткө ылайык ысытылгандын бетинин аягында боло тургандыгын эске алып, (з) жана (и) теңдемелеринен акыркысы келип чыгат:

же

Мына ушундай температуралык басымдын мааниси *ортологарифмалык* деп аталат жана адабиятта көпчүлүк убакта болуп белгиленет. Мына так ушундай эле карама-каршы ток үчүн дагы орточолонтулган температуралык басымдын формуласы чыгарылышы мүмкүн. Айырмачылыгы бир гана (г) теңдемесинин оң жагында минус деген белгинин коюп коюу зарыл жана ошондуктан бул жерде . Карама-каршы ток учурундагы орто логарифмалык температуралык басым үчүн акыркы формула бул түргө келет:

Карама-каршы ток жагдайында жана чоңдуктарынын барабардыгында (и) () теңдемесинен алабыз. Бул учурда бет боюнча температуралык басым туруктуу:

(8-7) жана (8-9) формулаларын бир формулага келтирүүгө болот, эгер жумушчу суюктуктардын ортосундагы температуралык басымдарды беттин башы жана аягынан көз карандысыз чоңун кичинени, аркылуу белгилесек. Анда прямоток жана карама-каршы ток үчүн ортологарифмалык температуралык басымдын акыркы формуласы төмөндөгү түргө келет:

Ортологарифмалык температуралык басым үчүн формулаларды чыгаруу жумушчу суюктуктардын чыгымдары жана жылуулук сыйымдуулугу, ошондой эле ысытылган бет боюнча жылуулукту алып берүү коэффициенти туруктуу бойдон калышы керек деген ой менен чыгарылган. Анткени чындыгында бул шарттар болжолдуу гана аткарылат, анда (8-7), (8-8) же (8-9) формулалары боюнча мааниси дагы жакындатылган.

Ысытылган бетти бойлото жумушчу суюктуктардын температурасы анча маанилүү өзгөрбөгөн учурларда орто температуралык басымды жана четки басымдардын орто логарифмалыгын эсептеп чыгарууга болот:

Температуралык басымдын орто арифметикалык мааниси дайыма орто логарифмалык басымдын маанисинен жогору. Бирок болгондо алар бири-биринен 3 %дан аз айырмаланышат. Техникалык эсептөөлөрдө мындай жаңылыштыкка жол берилет.

Жумушчу суюктуктары кайчылаш жана аралыш токтогу апппараттар үчүн температуралык басымды орточолоштуруу жөнүндө маселе математикалык эсептөөлөрү татаалдыгы менен айырмаланат. Ошондуктан көп кезедеше турган жагдайлар үчүн чечишитин натыйжалары адатынча график менен көрсөтүлгөн. Бир катар схемалар үчүн мындай графиктер тиркемеде берилген. Алардын жардамы менен орто температуралык басымды эсептөө төмөндөгүдөй жүргүзүлөт. Алгач (8-8) формуласы боюнча орто логарифмалык температуралык басым токко каршы таза аппараттар үчүн аныкталат. Андан кийин жардамчы жана чоңдуктар үчүн жүргүзүлөт:

Бул тиешелүү жардамчы графиктин (П-5-П-15-сүрөттү карагыла) берилиштери боюнча түзөтүү белги табабыз. Мына ошентип, жалпы жагдайда орто температуралык басым төмөндөгү формула менен аныкталат:

***Маселе 15.*** Каршы агуучу суу-суунун жылуулук алмашуусунун каршы агыгуучунун беттик аянты F= 2 м2 ысытуучу суунун темппературасы = 85 0С. Анын сарпталышы =2000 кг/саат, ысытуучу суунун көлөмү =1500 кг/саат, анын жылуулук алмашуусу боюнча кирген температурасы = 25 0С жылуулук ташуучу берген жылуулуктун жана анын акыркы температурасын аныктагыла. Эгерде ысытылган суунун жылуулук коэффициентинин муздак сууга болгон коэффициенти К=1400 Вт/(м2· 0С).

Таблица 12

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы саны | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 |

**Текшерүүчү суроолор**

153. Жылуулук алмашуу аппараты деп эмнени айтабыз?

154. Жылуулук алмашуу аппараттарынын кандай түрлөрү белгилүү?

155. Жылуулук алып жүрүүчүлөрдүн кыймылы кайсы схема боюнча ишке ашат?

156. Жылуулук алып жүрүүчүлөрдүн температурасынын орточо ар кылдуулугу кантип аныкталат?

157. Каршы агуучу кыймылдоочу рекуперативдик жылуулук алмаштыргычтын иш жүзүндөгү мисал келтиргиле?

158. Качан орто логарифманы жылуулук басымын орточо арифметикалык менен алмаштырса болот?

159. Рекуператив жылуулук алмаштыргыч үчүн жылуулук балансын жана жылуулук берүү теңдемесин кантип түзсө болот?

160.Жылуулук алмаштыргыч аспапты эсептөө үчүн кандай теңдемелер табуу чыгарылышы керек?

161. Ар кандай кыймылдоочу түзмөктүү жылуулукту алмашуусунун орточо температуралык басымы эмне деп аталат жана ал кантип эсептелинет?

162. Рекуперативдик жылуулук аспабы боюнча мисал келтир?

***Глава 13. Жылуулук энергетикалык орнотмолор***

***13. Отун жана анын мүнөздөмөлөрү***

***Отундун түрлөрү жана алардын өзгөчөлүктөрү. Катуу, суюк жана газ абалындагы отундардын составы. Отун күйгөндөгү жогорку жана төмөнкү жылуулук. Шарттуу отун.* Отундун күйүү температурасы. *Отундун жылуулук техникалык баасы. Отундун минералдык аралашмалары (кошундулары).***

***13.1.Отундун түрлөрү жана алардын өзгөчөлүктөрү.***

Энергетикалык отун деп өнөр-жайлык максаттарда көп өлчөмдөгү жылуулукту алуу үчүн, экономикалык жактан максатка ылайыктуу колдонула турган күйүүчү заттар аталат. Анын негизги түрлөрү органикалык отундар: чым көң, күйүүчү сланцалар, көмүр, жаратылыш газы, мунайды (нефть) кайра иштетүүдөн алынган продуктылар.

Отунду алуу жолдору боюнча табигый жана жасалма отун деп айырмалайт. **Табигый отундарга** натуралдык (табигый) отундар кирет: көмүр, сланцалар (катмартектер), чым көң, мунай (нефть), жаратылыш газдары. Катуу отундардын ичинен **жасалма отундарга** кокс, көмүрдүн брикеттери, жыгач көмүр кирет. **Суюк отунга:** мазут, бензин, керосин, соляр майы, дизель отуну кирет. **Газдарга:** жер астындагы газификациянын натыйжасында пайда болгон домна, генератордук, кокос газдары.

Чым көң, таш көмүр жана антрациттер куурап калган өсүмдүк массасын ырааттуулук менен көмүрдөндүрүүнүн натыйжасында пайда болушкан.

Катуу отундун негизинде электр жана жылуулук энергиясынын иштеп чыгат.

Катуу отундун составы (курамы) жана мүнөздөмөсү, анын ичинде учманын чыгышы, кокстун өчүрүмдүүлүгү көмүрдүн күйүү процессине чоң таасирин тийгизет. Учмалардын чыгышынын жогорулашы жана алардагы реакциячыл жарамдуураак газдардын камтылышы менен отундун от алышы жеңилдейт, ал эми кокс чоң майда тешиктүүлүккө (поралуулукка) ээ болгонуна байланыштуу, реакциячыл жарамдуураак болуп эсептелет.

Таш көмүрдүн мына ушул касиеттери боюнча классификация жүргүзүлөт. Казылып алынуучу көмүрлөр негизги үч типке бөлүнөт: күрөң көмүр, таш көмүр жана антрацит.

**Күрөң көмүр.** Б маркасындагы күрөң көмүргөкоксуөчүрүмдүү эмес жана учмалардын чыгышы жогору, кадыресе 40 % дан жогору жана жумушчу массанын жогорку күйүү жылуулугунаээ болгон, күлү жок көмүрсүз 5700 ккал/кг (23883 Дж/кг)дан аз көмүрлөр кирет.

Күрөң көмүр таш көмүргө салыштырмалуу жогорку гигроскоптуулугу, көпчүлүк учурда жогорку жалпы нымдуулугу төмөндөтүлгөн көмүртекти жана жогорулатылган кычкылтекти кармоосу менен мүнөздөлөт. Күл (Ар=15-25%)жана ным (Wp=20-35%) менен катуу балластирлөөнүн натыйжасында күрөң көмүрдүн күйүүсүнүн аз жылуулугу төмөндөтүлгөн

МДж/кг (2500-3600 ккал/кг).

**Таш көмүр.** Таш көмүргө 5700 ккал/кг (23883 Дж/кг)дан көп жана учмалардын чыгышы 9 %дан ашык, күлү жок көмүрдүн жумушчу массасынын күйүшүнүн жогорку жылуулугуна ээ болгон көмүрлөр кирет. Алардын негизги массасы ысып бириктирилет. Алардын бир бөлүгү учма заттардын чыгышы көп 42-45 % (узун жалындуу) жана аз 17 % болгондо бирикпейт.

Таш көмүр салыштырмалуу азыраак балластка Ар=5-15%, Wp=5-10% жана күйүүнүн жогорку жылуулугуна  МДж/кг (5500-6500 ккал/кг) ээ.

**Чым көң** химиялык жана геологиялык жактан казып алынуучу жашыраак катуу отун болуп эсептелет жана ал жогорку учмалардын чыгышына (Vг=70%), жогорку нымдуулукка (Wр=40-50%), орточо күлдүүлүккө (Aр=5—10%), күйүүнүн төмөн жылуулугуна

МДж/кг (2000-2500 ккал/кг) ээ.

**Сланцалар (катмартектер).** Эстонияда ачык жол менен алынуучу күйүүчү сланцалар чоң мааниге ээ. Сланцалардын күлдүүлүгү өтө жогору жана ал Aр=50-60 %га жетет, ошондой эле алардын нымдуулугу да жогору Wр=l5-20 %. Чоң балласттын натыйжасында алардын күйүү жылуулугу төмөн МДж/кг (1400-2400 ккал/кг), күйүүчү массанын күйүү жылуулугу жогору болгондо МДж/кг (6500-8000 ккал/кг).

Күйүүчү массадагы суутектин жогору болуусу Hг=7,5-9,5 % сланцаларда 80-90 %га жеткен учмалардын чоң чыгышына жана алардын оңой тутангычтыгына алып келет.

Күлдүүлүгү жана нымдуулугу жогору болгон отундун тышкы балластты көп камтыгандыгынын натыйжасында, күлдүн жана нымдын чоң массасын ташып чыгарууга кеткен өндүрүмсүз транспорттук чыгымдарды азайтуу үчүн, аны казып алган жерлерге жакын колдонуу максатка ылайык. Аларга негизинен кээ бир күрөң көмүрлөр, мисалы, подмосковный, башкир, украин, чым көң жана сланцалар сыяктуу отундар кирет.

**Мазут.** Энергетикада суюк отундардан үч маркадагы мазут – 40, 100 жана 200 колдонулат. Мазуттун маркасы анын илээшкектик чегине жеткендиги менен аныкталат, ал 80°Сда 40 мазут үчүн - 8,0; 100 мазуту үчүн – 15,6; 200 мазуту үчүн 100°Сда илээшкектик шарты – 6,5-9,5 град.

Мазутта көмүртек 84-86 %ды жана суутек – 11-12 %ды түзөт, нымды кармоо– 3-4 %дан ашпайт, ал эми күл ­– 0,5 %. Мазут күйүүнүн жогорку жылуулугуна МДж/кг (9400-9600 ккал/кг) ээ.

Күкүрттүн өлчөмү боюнча аз күкүрттүү мазут Sр≤0,5 %, күкүрттүү — Sр 2 %га чейин жана жогору күкүрттүү Sр 3,5 %га чейинкилерди айырмалашат; ал эми илээшкектиги боюнча аз илээшкектүү жана жогору илээшкектүү, чайырдуу заттарды кармоочу жана парафин болуп бөлүнөт. Мазуттун илээшкегирээк сортторунун коюулануу температурасы 25-35 0С. Мына ушуга байланыштуу күйгүзгөндө илээшкек мазуттарды 80-120 0С ка чейин алдын ала ысытуу талапка ылайык.

**Жаратылыш газы.** Украинанын отундук балансында углеводороддордун, күкүрттүү суутектин жана инерттик газдардын: азот жана көмүр кислоталарынын (углекислоты) аралашмаларынан турган жаратылыш газдарына чоң маани берилет. Жаратылыш газдарындагы негизги күйүүчү – метан (80ден 98 %га чейин) болуп эсептелет жана ал анын жогорку күйүү температурасына себеп болот. Аларда интерттик газдар аз өлчөмө болот: 0,1-0,3 % С02 жана 1-14 % N2.

Кургак жаратылыш газынын күйүү жылуулугу  МДж/м3 (8000-8500 ккал/м3).

**Домна газы** домна мештеринде чоюнду эритүүдөн пайда болот. Анын чыгышыжана химиялык составышихтанын жана отундун касиеттеринен, мештин иштөө тартибинен, процессти интенсификациялоо ыкмаларынан жана башка факторлордон көз каранды. Чоюндун тоннасына газдын чыгышы 1500-2500 м3 чегинде. Домна газындагы күйбөгөн компоненттеридин (N2 и CO2) үлүшү 70 %дын тегерегинде, ал анын жылуулук техникалык көрсөткүчтөрүнүн (газдын төмөнкү күйүү жылуулугу 3-5 МДж/м3 га барабар) төмөн экенин шарттайт.

Домналык газды күйгүзүүдө күйүү продуктыларынын максималдык температурасы (CO2 жана H2Oнун диссоциациясына кеткен жылуулук жоготууларды жана жылуулукту сарптоону эске албаганда) 1400-1500 0Cга барабар. Эгер анын газын күйгүзүүнүн алдында абаны ысытса, анда күйүүчү продуктылардын температурасын дээрлик жогорулатууга болот.

**Ферроэриткич газ** кенди калыбына келтирүүчү мештерде ферроэритмелерди эритүүдөн пайда болот. Жабык мештерде чыгып жаткан газды отундук ВЭР (экинчилик энергетикалык ресурс) катары колдонууга болот. Ачык мештерде аба эркин киргендигине байланыштуу газ колошникте эле күйүп кетет.

Ферроэритмелик газдын составы жана чыгышы эритилип жаткан эритмелердин маркасынан, шихтанын составынан, мештин иштөө тартибинен, анын кубаттуулугунан ж.б. көз каранды. Газдын составы: 50-90 % CO, 2-8 % H2, 0,3-1 % CH4, O2<1 %, 2-5 % CO2, калганы N2. Продуктылардын максималдык күйүү температурасы 2080 0Cга барабар. Газдын чаң басуусу (запылённость) 30-40 г/м3 түзөт.

**Конвертердик газ** болотту кычкылтектик конвертерлерде эритүүдө пайда болот. Газ негизинен көмүртектин кычкылынан турат, эритүү учурунда анын курамы жана чыгышы маанилүү өзгөрөт. Тазалагандан кийин газдын составы болжолдуу төмөндөгүдөй түргө келет: 70-80 % CO; 15-20 % CO2; 0,5-0,8 % O2; 3-12 % N2. Газдын күйүү жылуулугу 8,4-9,2 МДж/м3. Күйүүнүн максималдык температурасы 2000 0Сга жетет.

**Кокс газы** көмүр шихтасын кокстоодо пайда болот. Кара металлургияда ал химиялык продуктыларды чыгаргандан кийин колдонулат.

Кокс газынын составы көмүр шахтасынын касиеттеринен жана кокстоонун шарттарынан көз каранды. Газдагы компоненттердин көлөмдүк үлүштөрү төмөндөгү чектерде, % менен: 52-62 H2; 0,3-0,6 O2; 23,5-26,5 CH4; 5,5-7,7 CO; 1,8-2,6 CO2. Күйүү жылуулугу 17-17,6 МДж/м3 барабар, продуктылардын максималдык күйүү температурасы - 2070 0С түзөт.

***13.2. Катуу, суюк жана газ абалындагы отундардын составы***

Катуу жана суюк отундар күйүүчү элементтердин татаал кошундулары болуп эсептелет, алардын молекулярдык түзүлүштөрү жетишээрлик изилденип бүтө элек жана өзүнө минералдык аралашмаларды жана нымды камтыйт. Бул отундардын элементардык химиялык анализи алардын курамына кирген аралашмалардын химиялык жаратылышын түшүндүрбөйт жана ошондуктан алардын касиеттери жөнүндө жетишээрлик толук маалымат бере албайт. Көмүрдөндүрүү даражасына ылайык, отундун органикалык массасындагы көмүртектин өлчөмү көбөйөт, ал эми кычкылтектики жана азоттуку азаят, ал болсо отундун энергетикалык баалуулугунун жогорулашына түрткү берет.

Жөнөкөй аралашмалар болуп эсептелген газ абалындагы отундардын химиялык составы толук газ анализи менен аныкталат жана алардын көлөмүнөн алгандагы пайыз боюнча берилет.

Керектөөчүгө отундун жеткен түрү жумушчу деп, ал эми аны түзүүчү зат ­ жумушчу масса деп аталат.

Анын (14)

элементардык химиялык составына күйүүчү заттар кирет: татаал жогорку

молекулярдык аралашмалардагы [4] көмүртек С, суутек Н, күкүрт S, ошондой эле кычкылтек О жана азот N. Отун күйбөөчү минералдык аралашмаларды камтыйт жана алар отун күйгөндө күлгө А жана нымга W айланат.

Бир эле сорттогу отундун минералдык аралашмалары жана нымдуулугу ал алынган ар кайсы райондордо жана ар түрдүү жерлерде ар кандай болушу мүмкүн, ошондой эле транспартировка учурунда жана сактоодо өзгөрүшү ыктымал. Отундун күйүү массасынын составы туруктуураак болуп эсептелет. Бул абалды эске алып, ар түрдүү отундун жылуулук техникалык бааларын салыштыруу үчүн шарттуу түшүнүктөр киргизилген: кургак, күйүүчү жана органикалык масса. Аларды түзүүчүлөр пайыз менен берилген, алар жумушчу массаны белгиленгендей эле, ошол символдор менен белгиленет, бирок тиешелүү индекстер менен «с», «г» жана «о» жумушчу массанын индесинин ордуна, “р”.

Табигый шарттардагы бир калыпка келип калган нымдуулуктагы катуу отун аба-кургак деп аталат. Лабораториялык анализ үчүн келип түшкөн мындай отунду сынап көрүүнү, отунду аналитикалык сынап көрүү деп аташат. Отундун негизги күйүүчүсү болуп көмүртек эсептелет жана анын күйүшү жылуулуктун негизги өлчөмүн берет.

Аморфтук көмүртектин күйүү жылуулугу 34,4 МДж/кг (8130 ккал/кг). Суутек отундун күйүүчү массасынын мааниси боюнча экинчи элемент, анын катуу жана суюк күйүүчү массадагы камтылышы 2ден 10 %га чейин. Жаратылыш газында, мазутта жана күйүүчү сланцаларда суутек көп, эң азы антрацитте. Суу буусундагы суутектин күйүү жылуулугу - 10,8 МДж/м3 (2579 ккал/м3).

Отундагы кычкылтек жана азот органикалык балласт болуп эсептелет, анткени алардын болушу отундагы күйүүчү элементтердин өлчөмүн азайтат. Андан тышкары кычкылтек отундун суутеги же көмүртеги менен кошундуда болгондо, күйүүчүлөрдүн кээ бир бөлүгүн кычкылданган абалга өткөрүп жиберет жана анын күйүү жылуулугун азайтат. Сөңгөктө жана чым көңдө кычкылтек абдан көп болот. Отунду аба атмосферасында күйгүзгөндө азот кычкылданбайт жана эркин абалдагы күйүүчү продуктыга өтүп кетет.

Отунда күкүрт үч түрдө кездешиши мүмкүн: органикалык Sop, колчедандык Sк жана сульфаттык Sc:

. (14.2)

Органикалык күкүрт отундун татаал жогорку молекулярдуу органикалык кошулмаларынын составына кирет. Колчедандык күкүрт анын металлдар, көпчүлүк убакта темир (FeS2 – темир колчеданы) менен болгон кошулмалары болуп эсептелет жана ал отундун минералдык бөлүгүнө кирет. Органикалык жана колчедандык күкүрт Sop+к  отун күйгөндө жылуулук бөлүп чыгаруу менен күйөт. Сульфаттык күкүрт CaS04 жана FeS04 сульфаттар түрүндө отундун минералдык бөлүгүн түзөт жана ошондуктан күйүү процессинде андан ары кычкылданууга кабылбайт. Күкүрттүн сульфаттык кошундулары күйгөндө күлгө айланат. Отундун күйүүчү массасына Sop жана Sк кирет, алар отун күйгөндө SO2 жана анча чоң эмес өлчөмдө SO3 сыяктуу газ кошулмаларына өтүп кетет.

Катуу отундардагы күкүрттүн өлчөмү кадыресе көп эмес. Мунайда (нефть) күкүрт органикалык эмес кошулмалардын курамына кирет, жаратылыш газдарында ал дээрлик жокко эсе, кээ бир мунайдын чыккан жерлериндеги башкалар менен катар жүргөн газдарда күкүрт аз санда күкүрттүү суутек (водород) H2S жана SO2 күкүрттүү газ түрүндө кездешет.

Отун күйгөндө пайда болгон күкүрттүү газ жана өзгөчө анча чоң эмес өлчөмдөгү аны менен кошо жүрүүчү SO3 буу генераторлорунун металл бөлүктөрүн дат басууга алып келет жана айлана-чөйрөнү ууландырат. Күйүүнүн төмөн жылуулугунун 9,3 МДж/кг (2220 ккал/кг) натыйжасында күкүрттүн болушу отундун күйүү жылуулугун азайтат. Ошондуктан күкүрт отундун зыяндуу жана жагымсыз аралашмасы болуп эсептелет.

13 таблицасында ар түрдүү отундардын күйүү массасынын элементардык химиялык составы (курамы) берилген.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 13 | | | | | |
| **Отун** | **Күйүүчү массанын составы (курамы), %** | | | | |
| Cг | Wг | Oг | Nг | Sгор+к |
| Жыгач | 51 | 6 | 42,5 | 0,5 | - |
| Чым көң | 58 | 6 | 33 | 2,5 | 0,5 |
| Бурый уголь | 64-77 | 4-6 | 15-25 | 1 | 0,5-7,5 |
| Таш көмүр:  длинопламенный  тощий | 75-80  88-90 | 5-6  4-4,5 | 10-16  3-4 | 1,5  1,5 | 0,5-7  1-3 |
| Антрацит | 90-93 | 2-4 | 2-4 | 1 | 0,5-2 |
| Күйүүчү сланцалар  (катмартектер) | 60-65 | 7-9 | 10-17 | 1 | 5-15 |
| Мазут | 86-88 | 10-10,5 | 0,5-0,8 | | 0,5-3 |

***13.3. Отун күйгөндөгү жогорку жана төмөнкү жылуулук***

Ар кандай химиялык реакция жылуулукту бөлүп чыгаруу же өзүнө сиңирүү менен өтөт жана тиешелүү түрдө ал экзотерикалык же эндотермикалык деп аталат. Күйүү процессиндеги химиялык реакциялар көбүнчө күчтүү экзотермикалык реакциялар, кээ бир реакциялар мисалы, көмүр кислотасын калыбына келтирүү реакциясы эндотермикалык болуп эсептелет.

Берилген отундун массасынын бирдиги толук күйүп бүткөндөгү бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны, күйүүчү продуктылардагы нымдуулуктун буу же суюк түрүндөгү абалынан көз каранды. Эгер суу буусу суюктукка айланса жана күйүүчү продуктылардагы суу суюк түрдө болсо, анда буу пайда болуу жылуулугу бошонот жана берилген отундун массасы күйгөн учурда, бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны жогору болот.

Күйүүчү продуктыларда пайда болгон суунун буулары конденсацияланган шарттарда, 1 кг катуу же суюк отун, же 1 м3 газ абалындагы отун толук күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны **отундун күйүүсүнүн жогорку жылуулугу** деп аталат.

Температура жана парциалдык басым Н20 шарттарында буу генераторунун газ трактынын бүт аралыгындагы күйүүчү продуктылардагы суу буулары конденсацияланбайт жана алар менен бирге атмосферага чыгарылат. Демек, күйүүнүн натыйжасында бөлүнүп чыккан жылуулуктун кайсы бир бөлүгү суунун буусунун пайда болушуна сарпталат жана буу генераторлорунда колдонула албайт. Ошондуктан күйүү жылуулугу отун күйгөндө бошонгон химиялык энергиядан аз.

1 кг катуу, же суюк отун, же 1 м3 газ отуну толук күйгөндө пайда болгон суунун буусунун буу пайда болуусуна сарпталган жылуулукту алып таштагандагы жылуулук саны **төмөнкү күйүү жылуулугу** деп аталат.

***13.4. Шарттуу отун***

Берилген өндүрүмдүүлүктөгү буу генераторлордундагы отундун чыгымдалышы анын күйүү жылуулугунан көз каранды, ал ар түрдүү отундар үчүн чоң аралыктарга өзгөрөт. Ар түрдүү отундар үчүн энергетикалык баалуулуктарды жана натыйжалуу пайдаланууну салыштыруу боюнча шарттуу отун жөнүндө түшүнүк киргизилген, ага *Q*шарт=29,33 МДж/кг (7000 ккал/кг) барабар болгон күйүү жылуулугу ыйгарылат.

***13.5. Отундун күйүү температурасы***

Отун күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук, белгилүү температурага чейин ысытылган белгилүү күйүүчү продуктылар тарабынан өздөштүрүлгөн, күйүү температурасы деп аталган отундун күйүшүнүн калометрикалык, теориялык жана анык температураларын айырмалашат.

Отун күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук, күйүү температурасы деп аталып, белгилүү температурага чейин ысытылып, күйүүчү продуктылар тарабынан кабыл алынат.

Анык күйүүнүн жылуулук балансынын теңдемесине отундун жылуулук физикалык касиеттеринен гана көз каранды эмес, ошондой эле күйүү өтүп жаткан шарттардан, мисалы, отунду жана абаны жылытуунун даражасынан, күйүп жаткандагы жылуулукту жоготуудан, от жагылган жердеги жылуулукту кабыл алуудан, абанын ашыктык коэффициентинен көз каранды чоңдуктар кирет.

Отундун потенциалдык мүмкүнчүлүктөрүн аныктоо үчүн отунду жана абаны идеалдык адиабаттык процессте ысытуусуз күйгүзүү сыяктуу түшүнүгү киргизилет б.а. от жагуучу камерада айлана-чөйрө, жулуулук алмашуусуз жана жылуулукту жоготуусуз абанын теориялык сан менен күйүшү. Бул шарттарда алынган күйүүчү продуктылардын температурасы **теориялык** деп аталат.

***Калориметрикалык температура* отунду жана абаны, абаны сарптоонун ашыктык коффициентин α ысытуунун** адиабаттык күйүү температурасына болгон таасирин чагылдырат. Отунду жана абаны ысытуунун температурасын жогорулатуу, күйүү зонасына жылуулуктун келишин көбөйтөт жана күйүү температурасын жогорулатат, ал эми абанын ашыктык коэф*фициентин жогорулатуу α күйүү продуктыларынын көлөмүн Vг*, көбөйтөт, ал болсо күйүү температурасын төмөндөтөт. Ошондуктан калориметрикалык температура бул факторлордун таасиринин астында теориялыктан жогору же төмөн болушу мүмкүн.

Реалдуу шарттарда күйүүдөн бөлүнүп чыккан бардык жылуулук, реакциянын продыктыларын ысытууга кетпейт, анткени жылуулуктун бир бөлүгү от жагылган камеранын экрандык системасына берилет жана жылуулуктун кайсы бир бөлүгү айлана-чөйрөдө жоголот; андан тышкары жогорку температураларда күйүү продуктыларынын бир бөлүгүнүн (СО2 и Н2О), диссоциациясы, жылуулукту сиңирип алуу менен коштолуп өтөт.Мештин ар бир тиби, отунду күйгүзүүнүн түрү жана ыкмасы үчүн мештеги жылуулук алмашууну эсептеп чыгуунун жана мештин оозундагы чыккан газдардын анык температурасы аныктоонун атайы методикасы иштелип чыккан. Отундун күйүүсүнүн анык температурасынын теориялык температурага болгон катышы **пирометрикалык коэффициент** деп аталат.

***13.6. Отундун жылуулук техникалык баасы***

Буу генераторлорундагы отунду колдонуунун натыйжалуулугун баалоодо отундун маанилүү жылуулук техникалык мүноздөмөлөрү төмөндөгүлөр болушу мүмкүн: минералдык аралашмалардын өлчөмү жана составы, нымдуулугу, учмалардын чыгышы, кокстук калдыктын касиеттери жана күйүү жылуулугунун чоңдугу. Бул мүнөздөмөлөрдү аныктоо отундун техникалык анализине кирет. Отундун күйүүчү материал катары касиеттери элементардык химиялык анализ менен аныкталуучу анын химиялык составынан көз каранды.

***13.7. Отундун минералдык аралашмалары (кошундулары)***

Катуу отунда аралашмалардын маанилүү бөлүгүн тышкы аралашмалар түзөт. Ошондуктан бир эле отундун түрүндөгү минералдык аралашмалар өтө туруксуз болушу мүмкүн. Негизги минералдык аралашмалар: силикаттар (кремнезем SiO2, глинозем А1203, чопо), сульфиддер (негизинен FeS2), карбонаттар (СаСО3, MgCO3, FeCO3), сульфаттар (CaSO4, MgS04), металлдардын чала кычкылдары, кычкылдары, фосфаттары, хлориддеры, щелочтуу металлдардын туздары.

Күйүү процессинде жогорку температура чөйрөсүндө, отундун минералдык аралашмаларында физикалык жана химиялык кайра түзүлүүлөр болуп өтөт. Отундун температурасынын жогорулашы менен гипс жана силикат өзүнүн кристаллдаштыруу нымдуулугун жоготот.

400-600°С температура интервалында колчедан кычкылданат.

Колчедандын жана органикалык күкүрттүн кычкылданышынан пайда

болгон күкүрттүү ангидрид СаСО3 жана O2 менен реакцияга кирет.

600°Сдан жогорку температурада карбонаттар бул типтеги реакция боюнча ажырайт

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

жана хлориддер менен щелочтуу металлардын кайсы бир бөлүгү учуп кетет.

1000°Сдан жогорку температурада сульфаттар ажырайт.

Бул температурларда аралашмалардын силикаттык негизи менен башка кычкылдардын ортосунда химиялык өз ара аракеттешүү башталат. Кычкылдандыруу чөйрөсүндө темирдин чала кычкылы анын кычкылына өтөт.

Ал эми калыбына келүү чөйрөсүндө металлга өтөт. Жарым калыбына келүү чөйрөсүндө темирдин чала кычкылы сакталып калышы ыктымал жана белгилүү температуралык деңгээлде жеңил эрүүчү силикаттарды пайда кылуу менен кремнезем менен биригет. Мына ушуну менен жарым калыбына келүүчү чөйрөдө, шлактарды эритүү температурасынын байкалган бир топ төмөндөшү түшүндүрүлөт.

***Маселе 16.*** Эсептөө үчүн маселенин берилишин 14 – таблицадан алгыла.

Таблица 14

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы  саны | Отундун түрү | Чыгып кетүүчү газдын температурасы | Абанын ашыктык коэффициенти | Варианттын акыркы санын алдынкысы | Буу генератор жылуулук өндүрүмдүүгү |
| 0 | Аз күкүрттүү мазут | 150 | 1,25 | 0 | 600 |
| 1 | Донецк көмүрү,  Б маркасы | 130 | 1,41 | 1 | 480 |
| 2 | Караганда көмүрү | 120 | 1,45 | 2 | 540 |
| 3 | Кузнецк көмүрү,  Д маркасы | 125 | 1,35 | 3 | 620 |
| 4 | Бухара-Урал газы | 135 | 1,28 | 4 | 840 |
| 5 | Күкүрттүү мазут | 160 | 1,31 | 5 | 760 |
| 6 | Кызылкыя көмүрү | 125 | 1,40 | 6 | 420 |
| 7 | Ташкөмүр көмүрү | 130 | 1,44 | 7 | 380 |
| 8 | Сүлүктү көмүрү | 125 | 1,36 | 8 | 450 |
| 9 | Газли-Коган газы | 140 | 1,30 | 9 | 720 |

***16* – маселени аткарууга усулдук көрсөтмө**

Отундун түрүнө жараша анын жумушчу массалык курамын жана төмөнкү күйүү жылуулугу аныкталат. (2 – тиркеме, 1 – таблица; 3 – тиркеме, 2 – таблица)

Катуу жана суюк отунду күйгүзгөндөгү куйүү продукциясын жана абанын көлөмүн төмөндөгү формуланын жардамы менен аныкталынат.

Отундун толук күйүүсүнө керек болгон абанын саны төмөнкүгө барабар:

Абанын ашыктык коэффициенти болгондогу отундун толук күйүүсүндөгү күйүү продуктусунун теориялык көлөмү :

Азоттун теориялык көлөмү:

Үч атомдуу газдардын көлөмү:

Суу буусунун теориялык көлөмү:

Газ түрүндөгү отундарды күйгүзүүдөгү абанын жана күйүү продукттарынын көлөмүн төмөнкү формулалардын жардамы менен аныкталат :

Азоттун теориялык көлөмү:

Үч атомдуу газдардын көлөмү:

Суу буусунун теориялык көлөмү:

Бул формулада – газ түрүндөгү отундун курамындагы нымдуулук (

Аба ашык болгондо эсептөөлөр төмөнкү формулалар менен эсептелет (),( )

Суу буусунун көлөмү:

Газ буусунун көлөмү:

Буу генераторунун брутто ПАКин тескери баланстык теңдемесинин жардамы менен аныкталат, %:

Бул формулада – жылуулук жоготуулардын суммасы, %.

Чыгып кетүүчү газдардын негизиндеги жылуулук жоготуулар төмөнкү формуланын жардамы менен аныкталат, %:

Бул формулада – аба жана температура ашык болгондогу чыгып кетүүчү газдардын энтальпиясы, кДж/кг,( кДж/м3).

– муздак абанын энтальпиясы , кДж/кг,( кДж/м3).

- абанын жана газдардын жылуулук көлөмү,

Отундун химиялык толук эместигинен күйүүдөгү жылуулук жоготуу төмөнкүгө барабар:

Суюк жана газ түрүндөгү отун үчүн – 0,5%;

Катуу отун үчүн -

Отундун күйүүсүндө анын механикалык толук эместигинен келип чыккан жылуулук жоготуулар төмөнкүгө барабар:

Катуу отун үчүн – 0,5 – 1,5 % ( шарты аткарылгандагы аз күлдүү үчүн азыраак маани)

*-* отундун күлдүүлүгү (көп күлдүүлөр үчүн чоң маани), суюк жана газ отундар үчүн

Сырткы муздатууга байланыштуу жоготууларды 0,2 – 0,5% аралыгында алынат.

Шлактардын физикалык жылуулук чоңдугу аз болгондуктан, буга байланыштууу жылуулук жогогтууну эске алуу кажет эмес.

Буу генераторундагы отундун секундалык чыгымы төмөнкү формула менен эсептелет:

Таблица 15

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Варианттын акыркы санынын алдынкысы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
| Текшерүүчү  суроолор | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 |

**Текшерүүчү суролор**

173. КЭС эмнеси менен ЖЭБден жана АЭСтен айырмаланат?

174. Отундун жогорку жана төмөнкү күйүү жылуулугу деген эмне?

175. Отундун балласты деп эмнени айтабыз?

176. Отундун күйүүчү элементтери деген эмне?

177. Абанын коромжу болушу жана абанын сорулуп келиши деген эмне?

178. Казан орнотмолорунун негизги элементтеринин дайындалышы.

179. Отунду күйгүзүүнүн кандай жолдору бар? Алардын артыкчылыктары жана кемчиликтери.

180. Буу түтүгүнүн активдүү иштөө принциби анын реактивдик иштөө

принцибинен эмнеси менен айырмаланат?

181. Буу түтүктөрүнүн кандай конструктивдик өзгөчөлүктөрү бар?

182. Конденсатордун, эжектордун негизги дайындалышы кайсылар?

**Тиркемелер**

**Кычкылтектин жылуулук көлөмү**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Темп. | Массалык жылуулук көлөм  кДж/(кг\*) | | Көлөмдүү жылуулук көлөм  кДж/(м3\*) | |
|  |  |  |  |  |
| 600 | 0.9927 | 0.7327 | 1.4168 | 1.0459 |
| 700 | 1.0048 | 0.7448 | 1.4344 | 1.0854 |
| 800 | 1.0157 | 0.7557 | 1.4499 | 1.0789 |
| 900 | 1.0258 | 0.7658 | 1.4655 | 1.0936 |
| 1000 | 1.0350 | 0.7750 | 1.4775 | 1.1066 |
| 1100 | 1.0434 | 0.7854 | 1.4892 | 1.1183 |
| 1200 | 1.0509 | 0.7913 | 1.5005 | 1.1296 |

**Азоттун жылуулук көлөмү**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Темп. | Массалык жылуулук көлөм  кДж/(кг\*) | | Көлөмдүү жылуулук көлөм  кДж/(м3\*) | |
|  |  |  |  |  |
| 600 | 1,0760 | 0,7792 | 1.3452 | 1.9743 |
| 700 | 1,0869 | 0.7900 | 1.3586 | 1.9877 |
| 800 | 1,0974 | 0.8005 | 1.3716 | 1.0006 |
| 900 | 1,1078 | 0.8110 | 1.3845 | 1.0136 |
| 1000 | 1,1179 | 0.8210 | 1.3971 | 1.0178 |
| 1100 | 1,1271 | 0.8302 | 1.4089 | 1.0379 |
| 1200 | 1,1359 | 0.8395 | 1.4202 | 1.0492 |

**Көмүр кычкыл газынын жылуулук көлөмү**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Темп. | Массалык жылуулук көлөм  кДж/(кг\*) | | Көлөмдүү жылуулук көлөм  кДж/(м3\*) | |
|  |  |  |  |  |
| 600 | 1,0396 | 0.8508 | 2,0411 | 1,6701 |
| 700 | 1.0639 | 0.8746 | 2,0884 | 1.7174 |
| 800 | 1.0852 | 0.8964 | 2,1311 | 1.7601 |
| 900 | 1.1045 | 0.9157 | 2,1692 | 1.7982 |
| 1000 | 1.1225 | 0.9332 | 2,2349 | 1.8326 |
| 1100 | 1.1384 | 0.9496 | 2,2349 | 1.8640 |
| 1200 | 1.1530 | 0.9638 | 2,2638 | 1.8929 |

**Суу буусунун жылуулук көлөмү**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Темп. | Массалык жылуулук көлөм  кДж/(кг\*) | | Көлөмдүү жылуулук көлөм  кДж/(м3\*) | |
|  |  |  |  |  |
| 600 | 2,0092 | 1,5454 | 1,6148 | 1.2439 |
| 700 | 2,0419 | 1,5805 | 1.6412 | 1.2703 |
| 800 | 2,0754 | 1,6140 | 1.6680 | 1.2971 |
| 900 | 2,1097 | 1,6483 | 1.6957 | 1.3247 |
| 1000 | 2,1436 | 1,6823 | 1.7229 | 1.3519 |
| 1100 | 2,1771 | 1,7158 | 1.7501 | 1.3791 |
| 1200 | 2,2106 | 1,7488 | 1.7769 | 1.4059 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Көмүр | Отундун жумушчу массасынын курамы, % | | | | | | | | Күйүүнүн төмөнкү темпи | Күйүүчү массадан учуп чык-н заттар |
| Көмүр бассейни |  |  |  |  |  |  |  | Отун марка |
| Донецк | 13 | 21,8 | 3,01 | 49,3 | 3,6 | 1,0 | 9,3 | Д | 19,609 | 44 |
| Кузнецк | 12 | 13,2 | 0,3 | 58,7 | 4,2 | 1,9 | 9,7 | Д | 22,835 | 42 |
| Караганда | 8 | 27,6 | 0,8 | 54,7 | 3,3 | 0,8 | 4,8 | К | 21,327 | 28 |
| Таш Көмүр | 14,5 | 21,4 | 1,2 | 48,4 | 3,3 | 0,8 | 10,4 | Д | 18,452 | 36 |
| Кызылкыя | 28 | 14,4 | 0,9 | 44,4 | 2,4 | 0,5 | 9,4 | БЗ | 15,796 | 35 |
| Сүлүктү | 22 | 13,3 | 0,5 | 50,1 | 2,6 | 0,5 | 11,0 | БЗ | 17,891 | 33 |
| Аз күкүрт мазут | 3 | 0,05 | 0,3 | 84,65 | 11,7 | - | 0,3 |  | 40,308 | - |
| Күкүрттүү мазут | 3 | 0,1 | 1,4 | 83,8 | 11,2 | - | 0,5 |  | 39,763 | - |

**Буу газдарынын физикалык касиеттери:** В=760 мм.сым.таякча=1,01\*105 Па)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
| 0 | 1,295 | 1,042 | 2,28 | 12,20 | 0,72 |
| 100 | 0,950 | 1,068 | 3,13 | 21,54 | 0,69 |
| 200 | 0,748 | 1,097 | 4,01 | 32,80 | 0,67 |
| 300 | 0,617 | 1,122 | 4,84 | 45,81 | 0,65 |
| 400 | 0,525 | 1,151 | 5,70 | 60,38 | 0,64 |
| 500 | 0,457 | 1,185 | 6,56 | 76,30 | 0,63 |
| 600 | 0,405 | 1,214 | 7,42 | 93,61 | 0,62 |

**Кээ бир газ түрүндөгү отундардын эсептик мүнөздөмлөрү**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Газ жолу | Көлөм боюнча газдын курамы, % | | | | | | | Кургак газ күйүү төмөнкү жылуулугу |
| CH4 | C2H6 | C3H8 | C4H10 | C5H12 | N2 | CO2 |
| Бухара – Урал | 94,9 | 3,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 0,4 | 36,746 |
| Газли – коган | 95,4 | 2,6 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 0,2 | 36,620 |
| Борбор Азия | 93,8 | 3,6 | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 0,6 | 37,584 |

**Абанын жана газдардын орточо жылуулук көлөмү, кДж/м3\*℃**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  | Абадан |
| 0 | 1,5998 | 1,2946 | 1,3059 | 1,4943 | 1,3189 |
| 100 | 1,7003 | 1,2959 | 1,3176 | 1,5052 | 1,3243 |
| 200 | 1,7874 | 1,2996 | 1,3352 | 1,5254 | 1,3319 |

**Идеалдуу газдардын орточо молдук жылуулук сыйымдуулугу (кДж/кмоль·0С)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Аба | | Кычкылтек | | Азот | | Суутек | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 29,073 | 20,758 | 29,274 | 20,959 | 29,115 | 20,800 | 28,617 | 20,302 |
| 100 | 29,153 | 20,838 | 29,538 | 21,223 | 29,114 | 20,829 | 28,935 | 20,620 |
| 200 | 29,299 | 20,984 | 29,931 | 21,616 | 29,228 | 20,913 | 29,073 | 20,758 |
| 300 | 29,521 | 21,206 | 30,400 | 21,667 | 29,383 | 21,068 | 29,123 | 20,808 |
| 400 | 29,789 | 21,474 | 30,878 | 22,563 | 29,601 | 21,286 | 29,186 | 20,871 |
| 500 | 30,095 | 21,780 | 31,334 | 23,019 | 29,864 | 21,549 | 29,249 | 20,934 |
| 600 | 30,405 | 22,090 | 31,761 | 23,446 | 30,149 | 21,834 | 29,316 | 21,001 |
| 700 | 30,723 | 22,408 | 31,150 | 23,835 | 30,451 | 22,136 | 29,408 | 21,093 |
| 800 | 31,028 | 22,713 | 32,502 | 24,187 | 30,748 | 22,433 | 29,517 | 21,202 |
| 900 | 31,321 | 23,007 | 32,925 | 24,510 | 31,037 | 22,722 | 29,647 | 21,332 |
| 1000 | 31,598 | 23,283 | 33,118 | 24,803 | 31,313 | 22,998 | 29,789 | 21,474 |
| 1200 | 32,109 | 23,794 | 33,633 | 25,318 | 31,828 | 23,513 | 30,107 | 21,792 |
| 1400 | 32,565 | 24,250 | 34,076 | 25,761 | 32,293 | 23,978 | 30,467 | 22,152 |
| 1600 | 32,967 | 24,652 | 34,474 | 26,159 | 32,699 | 24,384 | 30,832 | 22,517 |
| 1800 | 33,319 | 25,004 | 34,838 | 26,519 | 33,055 | 24,740 | 31,192 | 22,877 |
| 2000 | 33,641 | 25,326 | 35,169 | 26,854 | 33,373 | 25,058 | 31,548 | 23,576 |
| 2200 | 33,926 | 25,611 | 35,483 | 27,168 | 33,658 | 25,343 | 31,891 | 23,576 |
| 2400 | 34,185 | 25,870 | 35,785 | 27,470 | 33,909 | 25,594 | 32,222 | 23,907 |

**Идеалдуу газдардын орточо молдук жылуулук сыйымдуулугу (кДж/кмоль·0С)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Суу буусу | | Көмүр кычкылы CO | | Көмүр кычкыл газы | | Метан | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0 | 33,499 | 25,184 | 29,123 | 20,808 | 35,860 | 27,545 | 34,738 | 26,423 |
| 100 | 33,741 | 25,426 | 29,178 | 20,863 | 38,112 | 29,767 | 36,806 | 28,491 |
| 200 | 34,118 | 25,803 | 29,303 | 20,998 | 40,059 | 31,744 | 39,427 | 31,112 |
| 300 | 34,575 | 26,260 | 29,517 | 21,202 | 41,755 | 33,440 | 42,274 | 33,959 |
| 400 | 35,090 | 26,775 | 29,789 | 21,474 | 43,250 | 34,935 | 45,180 | 36,865 |
| 500 | 35,630 | 27,315 | 30,099 | 21,784 | 44,573 | 36,258 | 47,977 | 39,662 |
| 600 | 36,195 | 27,880 | 30,426 | 22,111 | 45,753 | 37,438 | 50,673 | 42,358 |
| 700 | 36,789 | 28,474 | 30,752 | 22,437 | 26,813 | 38,498 | 53,277 | 44,962 |
| 800 | 37,382 | 29,077 | 31,070 | 22,755 | 47,763 | 39,448 | 55,902 | 47,587 |
| 900 | 38,008 | 29,693 | 31,376 | 23,061 | 48,617 | 40,302 | 58,331 | 50,016 |
| 1000 | 38,619 | 30,304 | 31,665 | 23,350 | 49,392 | 41,077 | 60,503 | 52,189 |
| 1200 | 39,825 | 31,510 | 32,192 | 23,877 | 50,740 | 42,425 | 62,455 | 54,140 |
| 1400 | 40,976 | 32,661 | 32,653 | 24,338 | 51,858 | 43,543 | 64,175 | 55,860 |
| 1600 | 42,056 | 33,741 | 33,051 | 24,736 | 52,800 | 44,485 | - | - |
| 1800 | 43,070 | 34,755 | 33,402 | 25,987 | 53,604 | 45,289 | - | - |
| 2000 | 43,995 | 35,680 | 33,708 | 25,393 | 54,290 | 45,975 | - | - |
| 2200 | 44,853 | 36,538 | 33,980 | 25,665 | 54,881 | 46,566 | - | - |
| 2400 | 45,646 | 37,330 | 34,223 | 25,908 | 55,391 | 47,076 | - | - |

**Басым туруктуу кездеги газдардын орточо массалык жылуулук**

**сыйымдуулугу (кДж/кг∙0С)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | Аба |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0,9148 | 1,0304 | 1,0396 | 0,8148 | 1,8594 | 0,6607 | 1,0036 |
| 100 | 0,9232 | 1,0316 | 1,0417 | 0,8658 | 1,8728 | 0,6636 | 1,0061 |
| 200 | 0,9353 | 1,0346 | 1,0463 | 0,9102 | 1,8937 | 0,6662 | 1,0115 |
| 300 | 0,9500 | 1,0400 | 1,0538 | 0,9487 | 1,9192 | 0,6687 | 1,0191 |
| 400 | 0,9651 | 1,0475 | 1,0634 | 0,9224 | 1,9477 | 0,7709 | 1,0283 |
| 500 | 0,9793 | 1,0567 | 1,0748 | 1,0128 | 1,9778 | 0,7724 | 1,0387 |
| 600 | 0,9927 | 1,0668 | 1,0861 | 1,0396 | 2,0092 | 0,7737 | 1,0496 |
| 700 | 1,0048 | 1,0777 | 1,0978 | 1,0639 | 2,0419 | 0,7754 | 1,0605 |
| 800 | 1,0157 | 1,0881 | 1,1091 | 1,0852 | 2,0754 | 0,7762 | 1,0710 |
| 900 | 1,0257 | 1,0982 | 1,1200 | 1,1045 | 2,1097 | 0,7775 | 1,0815 |
| 1000 | 1,0350 | 1,1078 | 1,1304 | 1,1223 | 2,1436 | 0,7783 | 1,0907 |
| 1100 | 1,0434 | 1,1170 | 1,1401 | 1,1384 | 2,1771 | 0,7791 | 1,0999 |
| 1200 | 1,0509 | 1,1258 | 1,1493 | 1,1530 | 2,2106 | 0,7795 | 1,1082 |
| 1300 | 1,0580 | 1,1342 | 1,1577 | 1,1660 | 2,2429 | - | 1,1166 |
| 1400 | 1,0647 | 1,1422 | 1,1658 | 1,1782 | 2,2743 | - | 1,1242 |
| 1500 | 1,0714 | 1,1497 | 1,1731 | 1,1895 | 2,3048 | - | 1,1313 |
| 1600 | 1,0773 | 1,1564 | 1,1798 | 1,1995 | 2,3346 | - | 1,1380 |
| 1700 | 1,0831 | 1,1631 | 1,1865 | 1,2091 | 2,3630 | - | 1,1443 |
| 1800 | 1,0886 | 1,1390 | 1,1924 | 1,2179 | 2,3907 | - | 1,1501 |
| 1900 | 1,0940 | 1,1748 | 1,1923 | 1,2259 | 2,4166 | - | 1,1560 |
| 2000 | 1,0990 | 1,1803 | 1,2033 | 1,2334 | 2,4422 | - | 1,1610 |
| 2100 | 1,1041 | 1,1863 | 1,2088 | 1,2405 | 2,4664 | - | 1,1664 |
| 2200 | 1,1087 | 1,1903 | 1,2129 | 1,2468 | 2,4895 | - | 1,1710 |
| 2300 | 1,1137 | 1,1945 | 1,2171 | 1,2531 | 2,5121 | - | 1,1757 |
| 2400 | 1,1183 | 1,1991 | 1,2217 | 1,2586 | 2,5334 | - | 1,1803 |
| 2500 | 1,1229 | 1,2029 | 1,2259 | 1,2636 | 2,5544 | - | 1,1840 |
| 2600 | 1,1271 | - | - | - | 2,5745 | - | - |
| 2700 | 1,1313 | - | - | - | 2,5937 | - | - |
| 2800 | - | - | - | - | 2,6121 | - | - |
| 2900 | - | - | - | - | 2,6297 | - | - |

**Көлөм туруктуу кездеги газдардын орточо массалык жылуулук**

**сыйымдуулугу кДж/кг∙0С**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | Аба |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0,6548 | 0,7352 | 0,7427 | 0,6259 | 1,3980 | 0,477 | 0,7164 |
| 100 | 0,6632 | 0,7365 | 0,7448 | 0,6770 | 1,4114 | 0,507 | 0,7193 |
| 200 | 0,6753 | 0,7394 | 0,7494 | 0,7214 | 1,4323 | 0,532 | 0,7243 |
| 300 | 0,6900 | 0,7448 | 0,7570 | 0,7599 | 1,4574 | 0,557 | 0,7319 |
| 400 | 0,7051 | 0,7524 | 0,7666 | 0,7938 | 1,4863 | 0,578 | 0,7415 |
| 500 | 0,7193 | 0,7616 | 0,7775 | 0,8240 | 1,5160 | 0,595 | 0,7519 |
| 600 | 0,7327 | 0,7715 | 0,7892 | 0,8508 | 1,5474 | 0,607 | 0,7624 |
| 700 | 0,7448 | 0,7821 | 0,8009 | 0,8746 | 1,5805 | 0,624 | 0,7733 |
| 800 | 0,7557 | 0,7926 | 0,8122 | 0,8964 | 1,6140 | 0,632 | 0,7842 |
| 900 | 0,7658 | 0,8080 | 0,8231 | 0,9157 | 1,6483 | 0,645 | 0,7942 |
| 1000 | 0,7750 | 0,8127 | 0,8336 | 0,9332 | 1,6823 | 0,653 | 0,8039 |
| 1100 | 0,7834 | 0,8219 | 0,8432 | 0,9496 | 1,7158 | 0,662 | 0,8127 |
| 1200 | 0,7913 | 0,8307 | 0,8566 | 0,9638 | 1,7488 | 0,666 | 0,8215 |
| 1300 | 0,7984 | 0,8390 | 0,8608 | 0,9772 | 1,7815 | - | 0,8294 |
| 1400 | 0,8051 | 0,8470 | 0,8688 | 0,9893 | 1,8129 | - | 0,8369 |
| 1500 | 0,8114 | 0,8541 | 0,8763 | 1,0006 | 1,8434 | - | 0,8441 |
| 1600 | 0,8173 | 0,8612 | 0,8830 | 1,0107 | 1,8728 | - | 0,8508 |
| 1700 | 0,8231 | 0,8675 | 0,8893 | 1,0203 | 1,9016 | - | 0,8570 |
| 1800 | 0,8286 | 0,8738 | 0,8956 | 1,0291 | 1,9293 | - | 0,8633 |
| 1900 | 0,8340 | 0,8792 | 0,9014 | 1,0371 | 1,9552 | - | 0,8688 |
| 2000 | 0,8390 | 0,8847 | 0,9064 | 1,0446 | 1,9404 | - | 0,8742 |
| 2100 | 0,8441 | 0,8901 | 0,9115 | 1,0517 | 2,0051 | - | 0,8792 |
| 2200 | 0,8491 | 0,8947 | 0,9161 | 1,0580 | 2,0281 | - | 0,8843 |
| 2300 | 0,8537 | 0,8993 | 0,9207 | 1,0639 | 2,0503 | - | 0,8889 |
| 2400 | 0,8583 | 0,9035 | 0,9249 | 1,0697 | 2,0720 | - | 0,8930 |
| 2500 | 0,8629 | 0,9077 | 0,9291 | 1,0748 | 2,0926 | - | 0,8972 |
| 2600 | 0,8575 | - | - | - | 2,1131 | - | - |
| 2700 | 0,8717 | - | - | - | 2,1323 | - | - |
| 2800 | - | - | - | - | 2,1508 | - | - |
| 2900 | - | - | - | - | 2,1683 | - | - |

**Басым туруктуу кездеги газдардын орточо көлөмдүк жылуулук**

**сыйымдуулугу (кДж/нм3∙0С)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | Аба |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 1,3059 | 1,2946 | 1,2992 | 1,5998 | 1,4943 | 1,733 | 1,2971 |
| 100 | 1,3176 | 1,2958 | 1,3017 | 1,7003 | 1,5052 | 1,813 | 1,3004 |
| 200 | 1,3352 | 1,2996 | 1,3071 | 1,7873 | 1,5223 | 1,886 | 1,3071 |
| 300 | 1,3561 | 1,3067 | 1,3167 | 1,8627 | 1,5424 | 1,955 | 1,3172 |
| 400 | 1,3775 | 1,3163 | 1,3289 | 1,8297 | 1,5654 | 2,018 | 1,3289 |
| 500 | 1,3980 | 1,3276 | 1,3427 | 1,9887 | 1,5897 | 2,068 | 1,3427 |
| 600 | 1,4168 | 1,3402 | 1,3574 | 1,9411 | 1,6148 | 2,114 | 1,3565 |
| 700 | 1,4344 | 1,3536 | 1,3720 | 2,0884 | 1,6412 | 2,152 | 1,3708 |
| 800 | 1,4499 | 1,3670 | 1,3862 | 2,0311 | 1,6680 | 2,181 | 1,3842 |
| 900 | 1,4645 | 1,3796 | 1,3096 | 2,1692 | 1,6957 | 2,215 | 1,3976 |
| 1000 | 1,4775 | 1,3917 | 1,4126 | 2,1035 | 1,7227 | 2,236 | 1,4097 |
| 1100 | 1,4892 | 1,4004 | 1,4248 | 2,2349 | 1,7501 | 2,261 | 1,4214 |
| 1200 | 1,5005 | 1,4143 | 1,4361 | 2,2638 | 1,7769 | 2,278 | 1,4327 |
| 1300 | 1,5106 | 1,4252 | 1,4465 | 2,2898 | 1,8028 | - | 1,4432 |
| 1400 | 1,5202 | 1,4348 | 1,4566 | 2,2136 | 1,8280 | - | 1,4528 |
| 1500 | 1,5294 | 1,4440 | 1,4658 | 2,3354 | 1,8527 | - | 1,4620 |
| 1600 | 1,5378 | 1,4528 | 1,4746 | 2,3555 | 1,8761 | - | 1,4705 |
| 1700 | 1,5462 | 1,4612 | 1,4825 | 2,3743 | 1,8996 | - | 1,4788 |
| 1800 | 1,5541 | 1,4687 | 1,4901 | 2,3915 | 1,9213 | - | 1,4867 |
| 1900 | 1,5617 | 1,4758 | 1,4972 | 2,4074 | 1,9423 | - | 1,4939 |
| 2000 | 1,5692 | 1,4825 | 1,5039 | 2,4221 | 1,9628 | - | 1,5010 |
| 2100 | 1,5759 | 1,4892 | 1,5102 | 2,4359 | 1,9824 | - | 1,5072 |
| 2200 | 1,5830 | 1,4951 | 1,5160 | 2,4484 | 2,0009 | - | 1,5135 |
| 2300 | 1,5897 | 1,5010 | 1,5215 | 2,4602 | 2,0198 | - | 1,5194 |
| 2400 | 1,5964 | 1,5064 | 1,5269 | 2,4710 | 2,0365 | - | 1,5253 |
| 2500 | 1,6027 | 1,5114 | 1,5320 | 2,4811 | 2,0528 | - | 1,5303 |
| 2600 | 1,6090 | - | - | - | 2,0691 | - | - |
| 2700 | 1,6153 | - | - | - | 2,0864 | - | - |
| 2800 | - | - | - | - | 2,0997 | - | - |
| 2900 | - | - | - | - | 2,1135 | - | - |

**Көлөм туруктуу кездеги газдардын орточо көлөмдүк жылуулук**

**сыйымдуулугу (кДж/нм3∙0С)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | Аба |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 0 | 0,9349 | 0,9236 | 0,9282 | 1,2238 | 1,1237 | 1,3361 | 0,9261 |
| 100 | 0,9466 | 0,9249 | 0,9307 | 1,3293 | 1,1342 | 1,4440 | 0,9295 |
| 200 | 0,9642 | 0,9286 | 0,9362 | 1,4164 | 1,1514 | 1,5516 | 0,9362 |
| 300 | 0,9852 | 0,9357 | 0,9458 | 1,4918 | 1,1715 | 1,5587 | 0,9462 |
| 400 | 1,0065 | 0,9454 | 0,9579 | 1,5587 | 1,1945 | 1,6645 | 0,9579 |
| 500 | 1,0270 | 0,9567 | 0,9718 | 1,6178 | 1,2188 | 1,7700 | 0,9718 |
| 600 | 1,0459 | 0,9692 | 0,9864 | 1,6701 | 1,2439 | 1,7742 | 0,9856 |
| 700 | 1,0634 | 0,9826 | 1,0011 | 1,7174 | 1,2703 | 1,7779 | 0,9998 |
| 800 | 1,0789 | 0,9960 | 1,0153 | 1,7601 | 1,2371 | 1,8813 | 1,0132 |
| 900 | 1,0936 | 1,0086 | 1,0287 | 1,7982 | 1,3247 | 1,8842 | 1,0262 |
| 1000 | 1,1066 | 1,0207 | 1,0417 | 1,8326 | 1,3519 | 1,8867 | 1,0387 |
| 1100 | 1,1183 | 1,0325 | 1,0538 | 1,8640 | 1,3791 | 1,8888 | 1,0505 |
| 1200 | 1,1296 | 1,0434 | 1,0651 | 1,8929 | 1,4059 | 1,9905 | 1,0618 |
| 1300 | 1,1396 | 1,0542 | 1,0756 | 1,9188 | 1,4319 | - | 1,0722 |
| 1400 | 1,1493 | 1,0639 | 1,0856 | 1,9427 | 1,4570 | - | 1,0819 |
| 1500 | 1,1585 | 1,0731 | 1,0948 | 1,9644 | 1,4817 | - | 1,0911 |
| 1600 | 1,1669 | 1,0819 | 1,1036 | 1,9845 | 1,5052 | - | 1,0999 |
| 1700 | 1,1752 | 1,0902 | 1,1116 | 2,0034 | 1,5286 | - | 1,1078 |
| 1800 | 1,1832 | 1,0978 | 1,1191 | 2,0205 | 1,5504 | - | 1,1158 |
| 1900 | 1,1907 | 1,1049 | 1,1262 | 2,0365 | 1,5713 | - | 1,1229 |
| 2000 | 1,1978 | 1,1116 | 1,1329 | 2,0511 | 1,5918 | - | 1,1296 |
| 2100 | 1,2050 | 1,1183 | 1,1392 | 2,0649 | 1,5115 | - | 1,1363 |
| 2200 | 1,2121 | 1,1242 | 1,1451 | 2,0775 | 1,6299 | - | 1,1426 |
| 2300 | 1,2188 | 1,1300 | 1,1505 | 2,0892 | 1,6479 | - | 1,1484 |
| 2400 | 1,2255 | 1,1335 | 1,1580 | 2,1001 | 1,6655 | - | 1,1543 |
| 2500 | 1,2318 | 1,1401 | 1,1610 | 2,1101 | 1,6818 | - | 1,1593 |
| 2600 | 1,2380 | - | - | - | 1,6982 | - | - |
| 2700 | 1,2443 | - | - | - | 1,7137 | - | - |
| 2800 | - | - | - | - | 1,7287 | - | - |
| 2900 | - | - | - | - | 1,7425 | - | - |

**Колдонулган адабияттар:**

1. Баскаков А.Н. Теплотехника, М., Энергоиздат, 1991.
2. Нащекин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача, М., Высшая школа, 1990.
3. Лариков Н.Н. Теплотехника, М., Энергия, 1980.
4. Матвеев Г.А. Теплотехника, М., высшая школа, 1981.
5. Хазен М.М. и др. Общая теплотехника, М., Высшая школа, 1980.

6. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника, М., Высшая школа, 1980.

7. Белинский С.Я., Липов Ю.М. "Энергетические установки электростанций". М.: Энергия, 1974.

8. Волков Э.П. и др. Энергетические установки электростанций. М.: Энергия, 1984.

9. Теплотехника. Под ред. Крутова В.И. и др. М.-1986 г.

10. Алексеев Г.Н. Общая теплотехника. М.: Высшая школа, 1980.

11. Тепловые и атомные электрические станции (справочник).

12. Исаченко В.П.и др. Текплопередача. М.:Энергоиздат, 1981.

13. Кирилин В.А. и др. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1974.

14. Михеев М.А., Михеева Н. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973.

15. Теплотехника. Под ред. Луканина В.Н. М.: Высшая школа, 2000.

16. Теплотехника. Под ред. Крутова В. И. М.: Машиностроение, 1986.

17.Данилова Г. И. и др. Сборник задач по процессам теплообмена в пищевой и холодильной промышленности. М.: Агропромиздат, 1986.

18. Краснощеков Е.А., Сукомел А. С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1975.

19. Афанасьева В. Н. и др. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена. Под ред. Крутова В. И. и Петражицкого Г. Б. М.: Высшая школа, 1986.

20. Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике. М.: Машиностроение, 1973.

21.Андрианова Т. Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. М.: Энергоиздат, 1981.

22. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Энергия, 1972.

23. Ривкин С. Л., Александров А. А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия, 1975.

24. Приложение к контрольным заданиям. ФПИ.: Фрунзе, 1990.