

**Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлиги**

**Абу Райҳон Беруний номи
Тошкент давлат техника университети**

ТЕХНИК ТЕРМОДИНАМИКА ВА ИССИСЛИК УЗАТИЛИШИ

ФАНИДАН МАСАЛАЛАР Тўплами

Тошкент 2006

Техник термодинамика ва иссиқлик узатилиши фанидан масалалар тўплами. Зокидов Р.А, Алимова М.М, Мавжудова Ш.С. Тошкент, ТошДТУ, 2006 – 121 б.

Масалалар тўпламида техник термодинамика ва иссиқлик узатилишида бўлиб ўтадиган жараёнлар, уларнинг асосий параметрлари, қолат ўзгаришлари тенгламалари, сув буғини қосил қилиш ва уни ишлатилиш цикллари, бир жисмдан иккинчи жисмга иссиқликни узатиш асослари ва қонунлари баён этилган ва шу мавзуларга доир масалалар келтирилган.

Абу Райҳон Беруний номли Тошкент давлат техника университети илмий-услубий кенгаш қарорига мувофиқ
чоп этилди.

Тақризчилар:

ЎРФА ФТИ «Селектив сопламалар ва
суёш-иссиқлик сурилмалари»
лабораторияси мудири, т.ф.д., проф.
ТошДУ «Иссиқлик энергетикаси»
кафедраси доценти, т.ф.н.,
Раҳимджанов Р.Т.

Авезов Р.Р.

© Тошкент давлат техника университети, 2006

Ў БО Ў

ЎОЛАТ ПАРАМЕТРАЛАРИ

Жисмнинг физик ўолатини ифодаловчи катталиқлар ҳолат параметрлари деб аталади. Ўолат параметрлари суйидагилардир: солиштирма ўажм, босим, ўорорат, ички энергия, энтальпия, энтропия ва бошқалар. Жисмни ўолатини ўзгартиришида кескин ўзгарувчи параметрлар босим, солиштирма ўажм, ўороратдир. Шу параметрларни кўриб чиқамиз:

Босим. Сиртнинг бирлик юзига тик таъсир этувчи кучга босим дейилади ва P ўарфи билан белгиланади.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Па} &= 1 \text{ Н/м}^2; & 1 \text{ кПа} &= 10^3 \text{ Па}; \\ 1 \text{ МПа} &= 10^6 \text{ Па}; & 1 \text{ бар} &= 10^5 \text{ Па}; \end{aligned}$$

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм сим.уст.} = 101325 \text{ Па.}$$

Тажриба ҳисоблашларида босимни ўлчашда техник атмосфера ишлатилади.

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кг/см}^2 = 10^4 \text{ кг/м}^2;$$

$$1 \text{ ат} = 10^4 \text{ кг/м}^2 = 0,981 \text{ бар};$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

Физик атмосфера - бу симоб устунининг баландлиги 760 мм, ҳарорати 0°C га тенг бўлган денгиз сатҳидаги босим деб тушунилади. Физик атмосфера - 1 атм белгиланади.

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм.симоб уст.}$$

$$1 \text{ бар} = 750 \text{ мм.симоб уст.}$$

$$1 \text{ атм} = 10333 \text{ мм сув уст.}$$

Кўпинча босим бирор-бир суюқлик сатҳининг баландлиги билан ўлчанади. Бунда босим қуйидагича ўлчанади:

$$P = \rho \cdot g \cdot h, \quad (1.1)$$

бу ерда: ρ - зичлик;

g - эркин тушиш тезланиши;

h - суюқлик сатҳининг баландлиги.

Босим қуйидаги турларга бўлинади:

1. **Мутлақ (абсолют) босим** - бу жисмга таъсир этувчи ўлиқ босимдир. У ҳеч қандай асбоб билан ўлчанмайди, балки ифода билан аниқланади.

Агар ортиқча босимни ўлчаб олсак, мутлақ босим қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$P_{\text{мут}} = P_{\text{бар}} + P_{\text{ман}} \quad (1.2)$$

Агар вакуум босимни ўлчаб олсак, мутлақ босим қўйидаги ифодадан аниқланади:

$$P_{\text{мут}} = P_{\text{бар}} - P_{\text{вак}} \quad (1.3)$$

2. **Барометрик босим** - бу атмосфера босими, у барометр билан ўлчанади - $P_{\text{бар}}$ ($P_{\text{атм}}$).

3. **Манометрик ёки ортиқча босим** - бу атмосфера босимидан юқори бўлган босим, у манометрлар билан ўлчанади- $P_{\text{ман}}$ ($P_{\text{орт}}$).

4. **Сийракланиш босими** - бу атмосфера босимидан кичик бўлган босимдир. Агар идиш ичидаги газнинг бир қисмини олиб ташласак, идиш ичида сийракланиш ҳосил бўлади. Бу босимни вакуумметр билан ўлчанади.

Босимнинг турли ўлчов бирликлари орасидаги нисбатни қўйидаги жадвал орқали кўришимиз мумкин.

1.1-жадвал

Бирлик-лар	Па	бар	кг к/см ²	мм сим.уст.	мм сув уст.
1 Па	1	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$7,5024 \cdot 10^{-3}$	0,702
1 бар	10^5	1,02	1,02	$7,5024 \cdot 10^2$	$1,02 \cdot 10^4$
1 кг/см ²	$9,8 \cdot 10^4$	1	1	735	10^4
1 мм сим.уст	133	$1,36 \cdot 10^3$	$1,36 \cdot 10^3$	1	13,6
1 мм сув.уст	9,8067	10^{-4}	$7,35 \cdot 10^{-2}$	$7,35 \cdot 10^{-2}$	1

Ҳарорат. Ҳарорат жисмнинг қизиганлик даражасини кўрсатадиган катталиқдир.

Ҳарорат икки хил бўлади:

1. Мутлақ ҳарорат - T , К.
2. Эмпирик ҳарорат- t , °С

Ҳозирги вақтда ишлатиладиган асосий ҳарорат шкалалари Кельвин шкаласи - Т, К, Цельсий шкаласи - t °C ва Фарангейт шкаласи - t, °F дир.

Турли ҳарорат шкалалари орасидаги боғланиш суйидагичадир:

$$\begin{aligned} t\text{ }^{\circ}\text{F} &= 1,8\text{ }t\text{ }^{\circ}\text{C} + 32 & t\text{ }^{\circ}\text{R} &= 0,8\text{ }t\text{ }^{\circ}\text{C} \\ T\text{ K} &= t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15 & t\text{ }^{\circ}\text{Ra} &= 1,8\text{ } (t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15) \end{aligned}$$

Солиштирама қажм. Модданинг **солиштирама қажми** модданинг масса бирлигида эгаллаган қажмидан иборат. Солиштирама қажм - v жисм массаси М бўлса, тўлиқ қажм V билан ифодаланса, қуйидаги нисбат билан аниқланади:

$$v = \frac{V}{M} ; \quad \text{м}^3/\text{кг} \quad (1.4)$$

Модданинг солиштирама қажми, одатда м³/кг ҳисобида ўлчанади.

З и ч л и к. Қажм бирлигидаги модда массасидир.

$$\rho = \frac{M}{V} , \quad \text{кг}/\text{м}^3 . \quad (1.5)$$

Масалалар

1. 1 м³ метаннинг массаси маълум шароитларда 0,7 кг га тенг. Шу шарт-шароитларда метаннинг зичлиги ва солиштирама қажмини анисланг.

Берилган:

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$M = 0,7 \text{ кг}$$

$$\rho - ?$$

$$v - ?$$

Ечиш:

$$v = \frac{V}{M} = \frac{1}{0,7} = 1,4258 \quad \text{м}^3/\text{кг}$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{1,4258} = 0,7 \quad \text{кг}/\text{м}^3$$

5

2. Ҳавонинг зичлиги маълум шароитларда 1,293 кг/м³ га тенг. Шу шароитларда ҳавонинг солиштирма ҳажмини аниқланг.

Берилган:

$$\rho = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$$
$$v = ?$$

Ечиш:

$$\rho = \frac{1}{v}; \quad v = \frac{1}{1,293}; \quad v = \frac{1}{1,293} = 0,773 \quad \text{м}^3/\text{кг}.$$

3. Ҳажми 0,9 м³ бўлган идишнинг ичида 1,5 кг СО гази жойлашган. Шу газнинг солиштирма ҳажми ва зичлигини аниқланг.

Берилган:

$$V = 0,9 \text{ м}^3,$$

$$M = 1,5 \text{ кг}$$

$$v - ?, \rho - ?$$

$$v = \frac{V}{M} = \frac{0,9}{1,5} = 0,6 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,6} = 1,66 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

4. Ҳавонинг босими барометр орсали 770 мм.сим.уст.га тенг. Бу қўрсаткич 0 °С да олинган. Мана шу босимни Н/м² ва (бар) катталикларда ифодаланг.

Берилган:

$$P = 770 \text{ мм.сим.уст.}$$

$$\frac{t = 0^{\circ}\text{C}}{H/\text{m}^2 \text{ (бар)}}=?$$

Жавоб: 1,2 бар; $1,02 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$.

5. Буғ сезонида босим $P = 0,04 \text{ МПа}$, барометрик босим 725 мм сим.уст.га тенг бўлганда мутлас (абсолют) босимни топинг.

Жавоб: $P_{\text{мут}} = 136660 \text{ Па}$.

6. Буғ сезонидаги буғнинг қарорати 350 F га тенг. Бу қароратни $^{\circ}\text{C}$ да ифодаланг.

Жавоб: $t = 510^{\circ}\text{C}$.

II БОБ ИДЕАЛ ГАЗ ҲОЛАТИ ТЕНГЛАМАСИ

Идеал газнинг ҳолат тенгламасини келтириб чиқариш учун идеал газнинг асосий қонунларини эсга оламиз.

Бойль-Мариотт ҳарорат ўзгармаганда солиштирма ҳажм билан мутлас босим орасидаги боғланишни аниқлаган. Бу қонун инглиз физиги Бойль томонидан 1664 йилда ва француз химиги Мариотт томонидан 1676 йилда очилган ва қуйидагича таърифланади: ҳарорат ўзгармаганда, босимлар нисбати, ҳажмлар нисбатига тескари пропорционал.

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

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad (2.1)$$

Гей-Люссак томонидан яна бир қонун яратилган бўлиб, у жисмнинг босими ўзгармаган ҳолни текширди.

Бу қонун, босим ўзгармаганда, мутлас ҳарорат билан солиштирма ҳажм орасидаги боғланишни ифодалайди ва қуйидагича таърифланади: босим

ўзгармаганда, солиштирма ҳажмлар нисбати, ҳароратлар нисбатига тўғри пропорционал:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2.2)$$

Қўрилган қонунлардан шу нарсга аён бўлдики, ҳар бирида битта параметр ўзгармас бўлиб, қолган иккаласи орасида боғланиш аниқланган. Ҳар уччала параметр орасидаги боғланиш эса қуйидаги қўринишга эга.

$$(p, v, T) = 0 \quad (2.3)$$

Бу боғланишни аниқлаш газларнинг молекуляр-кинетик назариясига асосланган. Унда шундай дейилади: босим газ молекулалари ўртача кинетик энергиясининг $2/3$ қисмига тўғри пропорционалдир.

Шунга асосланган ҳолда қуйидагича ёзамиз:

$$p = \frac{2}{3} \frac{n}{v} \overline{mw^2} \quad (2.4)$$

бунда: p - умумий босим;

n - молекулалар сони;

v - 1 кг газнинг ҳажми;

m - молекулалар массаси;

w - ўртача тезлик;

$\frac{\overline{mw^2}}{2}$ - молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси.

Шу назарияга асосан, умумий ҳарорат ўртача кинетик энергияга тўғри пропорционал.

$$\frac{\overline{mw^2}}{2} = B \cdot T \quad (2.5)$$

бунда: T - мутлас қарорат;
 B - пропорционаллик коэффициент.

Шунга асосланган ҳолда қуйидагича ёзамиз.

$$PV = \frac{2n}{3} BT \quad (2.6)$$

Агар юқоридаги тенгламани газнинг икки ҳолати учун ёзадиган бўлсак, уларнинг ҳар бири учун қуйидагича ёзилади.

$$p_1 v_1 = \frac{2}{3} n B T_1 \quad \text{ва} \quad p_2 v_2 = \frac{2}{3} n B T_2 \quad (2.7)$$

Ифодани бўлиш натижасида қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (2.8)$$

Бу тенгламадан шуни айтиш мумкинки, солиштира ҳажмнинг мутлас босимга бўлган кўпайтмасини мутлас ҳароратга бўлган нисбати ўзгармас сондир:

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \quad (2.9)$$

Бу 1 кг газга келтирилган ўзгармас катталикини R билан белгилаб, газ доимийси деб атаймиз.

$$\frac{PV}{T} = R \quad \text{Ж/кгК} \quad (2.10)$$

$PV = RT$ - идеал газнинг ҳолат тенграмаси дейилади.

M кг газ учун ҳолат тенграмаси:

$$PV = MRT \quad (2.11)$$

1 кмоль газ учун ҳолат тенграмаси қуйидагича ёзилади:

$$pV_\mu = R_\mu \cdot T \quad (2.12)$$

R_μ - универсал газ доимийси:

$$8314 \left[\frac{\text{Ж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \right] = 8,314 \left[\frac{\text{кЖ}}{\text{кмол} \cdot \text{К}} \right]$$

Ҳар қандай газнинг газ доимийси қуйидагича аниқланади:

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu_{\text{газ}}} \quad (2.13)$$

μ - молекуляр масса.

Масалан:

Кислороднинг газ доимийси:

$$R_{O_2} = \frac{8314}{\mu_{O_2}} = \frac{8314}{32} = 260 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}.$$

Ҳавонинг газ доимийси:

$$R_{\text{гаво}} = \frac{8314}{\mu_{\text{гаво}}} = \frac{8314}{29} = 287 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}.$$

Масалалар

7. Агар манометрнинг кўрсаткичи $p=0,245$ мПа, босим барометр орқали $P_{\text{бар}} = 93,325$ Па (700 мм сим.уст.)га тенг бўлса, у ҳолда буғ қозонидаги мутлас босимни аниқланг.

$$\text{Жавоб: } P_{\text{мут}} = 0,33 \text{ МПа}$$

8. Симобли барометр билан ўлчанган ҳаво босими 765 мм сим.уст. га, ҳарорат $t=20^{\circ}$ С га тенг. Босимни Па га айлантиринг.

$$\text{Жавоб: } P_{\text{бар}} = 1,02352 \text{ Па}.$$

9. СО гази берилган б? либ, унинг босими 1 бар га, ҳарорати 15° С га тенг. Шу газнинг зичлигини топинг.

Берилган:

$$P=1 \text{ бар}$$

$$\frac{t=15^{\circ}\text{C}=288\text{ K}}{\rho=?}$$

Ечиш:

$$\rho = \frac{1}{v}, \quad p v = R T, \quad v = \frac{R T}{P} = \frac{297 \cdot 288}{1 \cdot 10^5} = 0,85 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$R_{\text{CO}} = \frac{R_{\text{м}}}{\mu_{\text{CO}}} = \frac{8314}{28} = 297 \text{ Ж/кг}\cdot\text{К}$$

$$\rho = \frac{1}{0,85} = 1,17 \text{ кг/м}^3$$

10. 1 кг азот 70°C ҳарорат ва 0,2 МПа босимда қандай ҳажмни эгаллайди?

Жавоб: $v=0,509 \text{ м}^3/\text{кг}$.

11. O_2 гази берилган бўлиб, унинг босими 23 бар га, ҳарорати 280°C га тенг. Кислороднинг солиштирма ҳажмини ҳисобланг.

Жавоб: $v=0,062 \text{ м}^3/\text{кг}$

12. Босими 0,5 МПа га эга бўлган қаво цилиндрда қаракатланади, унинг ҳажми $0,8 \text{ м}^3$ га тенг. Агар ҳарорат ўзгармаганда қавонинг босимини 0,8 МПа гача оширилса ҳажм қанчага ўзгаради?

Жавоб: $V=0,5 \text{ м}^3$

13. -20°C ли маълум миқдорли газнинг ҳажми, ҳарорати $+20^{\circ}\text{C}$ бўлган газнинг ҳажмидан неча марта кам? Босимни иккала ҳолда ҳам бир хил деб олинсин.

Жавоб: 1,16 марта.

III БОБ ГАЗ АРАЛАШМАСИ

Газ аралашмаси деб, бир неча компонентлардан ташкил топган аралашмага айтилади. Газ аралашмаси массавий ва қажмий улушда берилиши мумкин.

Массавий улуши - g m_2 билан белгиланади ва ҳар бир компонентнинг массасини аралашма массасига нисбати билан аниқланади.

$$m_1 = \frac{M_1}{M}; \quad m_2 = \frac{M_2}{M}; \quad m_3 = \frac{M_3}{M}; \quad m_n = \frac{M_n}{M} \quad (3.1)$$

(3.1) даги: M_1, M_2, M_n - газ аралашмасида газлар массаси;

M - газ аралашмасининг массаси.

Қажмий улуши - r билан белгиланади ва ҳар бир компонентнинг ҳажмини аралашманинг ҳажмига нисбати билан аниқланади:

$$r_1 = \frac{V_1}{V}; \quad r_2 = \frac{V_2}{V}; \quad \dots \quad r_n = \frac{V_n}{V} \quad (3.2)$$

(3.2) даги: V_1, V_2, V_n - газ аралашмасида ҳар бир газнинг қажми;

V - газ аралашмаси қажми.

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = M \quad (3.3)$$

$$m_1 + m_2 + \dots + m_n = 1 \quad (3.4)$$

$$V_1 + V_2 + \dots + V_n = V \quad (3.5)$$

$$r_1 + r_2 + \dots + r_n = 1 \quad (3.6)$$

Массавий улушни қажмий улушга ўтиш ифодаси қуйидагичадир:

$$r_i = \frac{\frac{m_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{M_i}} \quad (3.7)$$

Худди шундай қажмий улушдан массавий улушга ўтиш ифодаси қам мавжуддир.

$$r_i = \frac{r_i \mu_i}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i} \quad (3.8)$$

Газ аралашмасининг зичлиги қуйидаги ифодадан аниқланади. Агар қажмий улушда берилса:

$$\rho_{ap} = \sum r_i \rho_i, \quad \text{кг/м}^3 \quad (3.9)$$

ёки массавий улушда берилса:

$$\rho_{ap} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho_i}}; \quad \text{кг/м}^3 \quad (3.10)$$

Молекуляр оғирликни қуйидагича аниқланади. Қажмий улушда:

$$\mu_{ap} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i, \quad \text{кг/м}^3 \quad (3.11)$$

Массавий улушда:

$$\mu_{ap} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}}; \quad (3.12)$$

Газ доимийси қуйидагича аниқланади:

$$R_{ap} = \sum_{i=1}^n m_i R_i, \quad \text{Ж/кгК} \quad (3.13)$$

$$R_{ap} = \frac{8314}{\mu_{ap}} = \frac{8314}{\sum_{i=1}^n r_i \mu_i}; \text{ Ж/кгК} \quad (3.14)$$

Масалалар

14. Атмосфера ҳавоси тахминан суйидаги таркибга эга: $m_{O_2} = 23,2 \%$; $m_{N_2} = 76,8 \%$. Ҳавонинг ҳажмий таркибини, унинг газ доимийсини, молекулалар массасини ва ҳавонинг босими барометр бўйича $B = 101325 \text{ Па}$ бўлса, кислород ва азотнинг парциал босимини топинг.

Берилган:

$$M_{O_2} = 23,2 \%$$

$$M_{N_2} = 76,8 \%$$

$$B = 101325 \text{ Па}$$

$$R_{ap} - ?, M_{ap} - ?, r_{O_2} - ?$$

$$P_{O_2} - ?, P_{N_2} - ?, r_{N_2} - ?$$

Ечиш:

$$r_i = \frac{\frac{m_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\mu_i}} \quad \text{тенгламадан фойдаланиб, ҳажмий улушни}$$

аниқлаймиз:

$$r_{O_2} = \frac{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}}}{\frac{m_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{m_{N_2}}{\mu_{N_2}}} = \frac{\frac{23,2}{32}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28}} = 0,21$$

$$r = \frac{\frac{76,8}{28}}{\frac{23,2}{32} + \frac{76,8}{28}} = 0,79$$

$$R_{ap} = \sum_1^n m_i R_i \quad \text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \text{ тенгламадан}$$

$$R_{ap} = m_{O_2} R_{O_2} + m_{N_2} R_{N_2} = 0,232 \cdot 260 + 0,768 \cdot 295 = 287 \text{ Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

$$M_{ap} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i = r_{O_2} \mu_{O_2} + r_{N_2} \mu_{N_2} = 0,21 \cdot 32 + 0,79 \cdot 28 = 28,9$$

Парциал босимни қуйидаги тенгламадан топамиз:

$$P_i = r_i \cdot P$$

$$P_{O_2} = r_{O_2} \cdot P = 0,21 \cdot 101325 = 21278 \text{ Па}$$

$$P_{N_2} = r_{N_2} \cdot P = 0,79 \cdot 101325 = 80047 \text{ Па}$$

15. 1 м³ сурус қавода тахминан 0,232 м³ кислород ва 0,768 м³ азот бор. Қавонинг таркибини, унинг газ доимийсини ва парциал босимларини аниқланг.

Берилган:

$$V_{O_2} = 0,232 \text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = 0,768 \text{ м}^3$$

$$m_{O_2} - ?, P_{N_2} - ?$$

$$R_{ap} - ?, P_{O_2} - ?$$

$$\text{Жавоб: } m_{O_2} = 0,232 = 0,232; m_{N_2} = 0,768 = 0,768;$$

$$R_{ap} = 287 \text{ Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); P_{O_2} = 0,232 \cdot P_{ap}; P_{N_2} = 0,768 \cdot P_{ap}$$

16. Қурук ёнилғи мақсулотларининг қажмий таркиби CO₂=12,3%, O₂=7,2%, N₂=80,5% (таркибида сув буғи йўқ). Молекуляр массасини, газ доимийсини, қамда зичлиги ва мақсулотларнинг В=800°С қароратдаги солиштирма қажмини қисобланг.

$$\text{Жавоб: } M_{ap} = 30,3, R_{ap} = 274 \text{ Ж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$V = 2,94 \text{ м}^3/\text{кг}; \rho_{ap} = 0,34 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

17. Генератор газы куйидаги кажмий таркибга эга: $\text{H}_2=7,0\%$, $\text{CH}_4=2,0\%$, $\text{CO}=27,6\%$, $\text{CO}_2=4,8\%$, $\text{N}_2=58,6\%$. Шу газнинг 150°C ва $0,1 \text{ МПа}$ даги массавий улушларини, молекуляр оғирлигини, газ доимийсини, зичлиги ва парциал босимини аниқланг.

Берилган:

$$\text{H}_2=0,07$$

$$\text{CH}_4=0,02$$

$$\text{CO}=0,276$$

$$\text{CO}_2=0,048$$

$$\text{N}_2=0,586$$

$$t=150^\circ\text{C}$$

$$T=288 \text{ К}$$

$$P=0,1 \cdot 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$$

$$\mu_{ap}-?, \quad m_{\text{CH}_4}-?$$

$$m_{\text{H}_2}-?, \quad m_{\text{CO}_2}-?$$

$$m_{\text{CO}}-?, \quad \rho_{ap}-?, \quad 15$$

$$R_{ap}-?, \quad P_{\text{H}_2}-?, \quad m_{\text{N}_2}-?$$

Ечиш:

$$m_{\text{H}_2} = 0,005; \quad m_{\text{CH}_4} = 0,012;$$

$$m_{\text{CO}} = 0,268; \quad m_{\text{CO}_2} = 0,079;$$

$$m_{\text{N}_2} = 0,614; \quad R_{ap} = 311,29$$

$$\mu_{ap} = 26,72; \quad \rho_{ap} = 1,095;$$

$$P_{\text{H}_2} = 7 \text{ кПа}.$$

18. Кокс печининг газы куйидаги таркибга эга: $\text{H}_2=57\%$, $\text{CH}_4=23\%$, $\text{CO}=6\%$, $\text{CO}_2=2\%$, $\text{N}_2=12\%$. Газнинг молекуляр массаси, зичлиги, газ доимийси ва 150°C , 100 кПа даги парциал босимини топинг.

Берилган:

$H_2 = 0,57 \%$
 $CH_4 = 0,23\%$
 $CO = 0,06\%$
 $CO_2 = 0,02\%$
 $N_2 = 0,12\%$
 $T = 15^\circ C$
 $P = 100 \text{ кПа}$

$T = 2880 \text{ К}$

Жавоб: $\mu_{ар} = 10,77$; $m_{H_2} = 0,107$;
 $m_{CO_2} = 0,082$; $\rho_{ар} = 0,45 \text{ кг/м}^3$;
 $R_{ар} = 772 \text{ Ж/(кг·К)}$

19. Генератор гази қуйидаги қажмий қисмлардан таркиб топган: $H_2=18\%$, $CO=24\%$, $CO_2=6\%$, $N_2=52\%$

Генератор газининг газ доимийсини ва газ таркибининг массавий улушини аниқланг.

Жавоб: $R_{ар} = 342,32 \text{ Ж/(кг·К)}$; $m_{H_2} = 1,48 \%$;
 $m_{CO} = 27,83\%$; $m_{CO_2} = 10,86\%$; $m_{N_2} = 60,03 \%$.

20. Агар аралашманинг қажмий таркиби қуйидагича бўлса: $H_2O=6\%$, $CO=1\%$, $CO_2=12\%$, $O_2=7\%$, $N_2=74\%$ газ доимийси, солиштира қажми ва парциал босим аниқлансин. Умумий босим $P=100 \text{ кПа}$.

Жавоб: $R_{ар} = 281 \text{ Ж/кг·К}$; $V_{ар} = 0,76 \text{ м}^3/\text{кг}$;
 $P_{CO} = 1200 \text{ кПа}$; $P_{CO_2} = 12000 \text{ Па}$.

IV БОБ ГАЗЛАРНИНГ ИССИҚЛИК СИҒИМИ

Жисмнинг иссиқлик сиғими деб, унинг қароратини 1 градусга ошириш учун керак бўлган иссиқлик миқдорига айтилади.

Моддага нисбатан олинган иссиқлик сиғими солиштирма иссиқлик сиғими дейилади.

Солиштирма иссиқлик сиғими ўз навбатида қуйидагиларга бўлинади:

а) массавий солиштирма иссиқлик сиғими, c , кЖ/(м·К) - бу 1 кг жисмни 1 градусга қизитиш учун керак бўлган иссиқлик миқдори;

б) қажмий солиштирма иссиқлик сиғими, c' , кЖ/(м³·К) - бу 1 м³ жисмни 1 градусга қизитиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдори;

в) моляр солиштирма иссиқлик сиғими, μc , кЖ/(моль·К) - бу 1 моль жисмни 1 градусга қизитиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдори.

Улар орасидаги боғлиқлик қуйидагича:

$$c = \frac{\mu c}{\mu} \quad c' = \frac{\mu c}{22,4} \quad (4.1)$$

бу ерда P_n - газнинг нормал шароитда зичлиги.

Иссизлик техникасида солиштирма иссиқлик сиғимини оддий қилиб иссиқлик сиғими деб аташ қабул қилинган.

Иссиқлик сиғими жисмнинг табиатига, унинг қароратига ва иссиқлик берилаётган ёки олиб кетилаётган жараённинг характериға боғлиқ.

Газларнинг иссиқлик сиғими қарорат ортиши билан ошади. t_1 дан t_2 гача

$$c = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (4.2)$$

Жисмнинг маълум бир (аниқ) қароратидаги иссиқлик сиғими ҳақиқий иссиқлик деб аталади.

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{dq}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (4.3)$$

Газнинг ҳақиқий иссиқлик сиғимининг қароратга боғлиқлиги қуйидаги кўринишга эга:

$$c = a + bt + dt^2 + \dots, \quad (4.4)$$

бу ерда a , b , d - қар бир газ учун доимий бўлган коэффицентлар.

Амалий қисоб китоблардаги етарли аниқлик билан бу боғлиқликни тўғри чизиқли боғлиқлик кўринишида ифодалаш мумкин.

$$c=a+bt \quad (4.5)$$

t_1 - t_2 оралиғидаги ўртача иссиқлик сиғими

$$C \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{q}{t_2 - t_1} \quad (4.6)$$

Агар ўртача иссиқлик сиғимининг жадвал миқдори маълум бўлса, унда t_1 - t_2 оралиғидаги ўртача иссиқлик сиғими:

$$C \Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{C \Big|_{t_0}^{t_2} t_2 - C \Big|_{t_0}^{t_1} t_1}{t_2 - t_1} \quad (4.7)$$

Газларнинг доимий босимдаги c_p ва доимий қажмдаги c_v иссиқлик сиғимлари алоқида ўринга эга.

Бу икки қолат учун иссиқлик сиғимининг қар хил миқдорлари тўғри келади: яъни қуйидаги қақиқий ва ўртача иссиқлик сиғимлари:

А. 1) доимий босимдаги моляр иссиқлик сиғими μc_{pm}

2) доимий қажмдаги моляр иссиқлик сиғими μc_{vm} ва $M c_{vm}$

Б. 1) доимий босимдаги массавий иссиқлик сиғимлари c_p ва c_{pm}

2) доимий қажмдаги массавий иссиқлик сиғимлари c_v ва c_{vm}

В. 1) доимий босимдаги қажмий иссиқлик сиғимлари c'_p ва c'_{pm}

2) доимий қажмдаги қажмий иссиқлик сиғимлари c'_v ва c'_{vm}

c_p ва c_v лар орасидаги боғлиқлик Майер формуласи орқали ифодаланиши мумкин.

$$\mu c_p - \mu c_v = R \quad (4.8)$$

ёки

$$\mu c_p - \mu c_v = \mu R = 8,314 \text{ кЖ (кмоль} \cdot \text{К)}$$

Худди шунингдек уларнинг нисбати ҳам иссиқлик сиғимида кенг қўлланилади.

$$\frac{c_p}{c_v} = \kappa \quad (4.9)$$

бу ерда κ - адиабатик кўрсаткич.

Газ аралашмасининг иссиқлик сиғимини қисоблаш иссиқлик баланси тенгламасига асосланган ва бунга асосан, аралашмага келтирилган иссиқлик, унинг компонентларига келтирилган иссиқлик миқдорининг йиғиндисига тенг.

а) Аралашманинг масса иссиқлик сиғими

$$C_{ap} = \sum_{i=1}^n m_i c_i \quad (4.10)$$

б) Аралашманинг қажмий иссиқлик сиғими

$$C_{ap} = \sum_{i=1}^n r_i c_i \quad (4.11)$$

в) Аралашманинг моляр иссиқлик сиғими

$$\mu C_{ap} = \sum_{i=1}^n r_i \mu c_i \quad (4.12)$$

Ишчи жисмнинг политропик жараёндаги иссиқлик сиғими

$$C = c_v \frac{n - \kappa}{n - 1} \quad (4.13)$$

бу ерда n - политропа кўрсаткичи.

Агар иссиқлик сиғими қароратга боғлиқ эмас деб қабул қилинса, қуйидаги жадвалдан фойдаланиш мумкин.

4-1-жадвал

Газлар	μ_{cv}	μ_{cp}	μ_{cv}	μ_{cp}	$\frac{c_p}{c_v} = \kappa$
	КЖ (кмоль·К)		20 Ккал/(кмоль·К)		
Бир атомли	12,56	20,93	3	5	5/3=1,666
Икки атомли	20,93	29,31	5	7	7/5=1,4
Уч ва кўп атомли	28,31	37,68	7	9	9/7=1,285

Ҳақиқий ва ўртача моляр иссиқлик сиғимларининг 0-1000 °С қароратлар оралиғида қийматини қисоблаш учун интерполяцион формулалари жадвалда берилган.

4-2-жадвал

Газлар	P=const даги ҳақиқий иссиқлик сиғими, КЖ/ (кмоль·К)	P=const даги ўртача иссиқлик сиғими КЖ/(кмоль·К)
N ₂	$\mu_{cp}=28,5372+0,0005390 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=28,7340+0,002349 \cdot t$
O ₂	$\mu_{cp}=29,5802+0,006971 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=2920,80+0,004072 \cdot t$
H ₂	$\mu_{cp}=28,3446+0,003152 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=28,7210+0,001201 \cdot t$
CO ₂	$\mu_{cp}=28,7395+0,005862 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=28,8563+0,00268 \cdot t$
SO ₂	$\mu_{cp}=41,3597+0,013204 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=38,3955+0,010584 \cdot t$
SO ₂	$\mu_{cp}=42,8728+0,013204 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=40,4386+0,009956 \cdot t$
Қаво	$\mu_{cp}=28,7558+0,005721 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=28,8270+0,002708 \cdot t$
H ₂ O (буғи)	$\mu_{cp}=32,8367+0,011661 \cdot t$	$\mu_{cp}^0=33,1494+0,005275 \cdot t$

Масалалар

21. Қавонинг иссиқлик сиғими ҳароратга боғлиқ эмас деб қисоблаб, унинг доимий босимдаги ва доимий

Ўқажмдаги, массавий ва ўқажмий иссиқлик сизимларини аниқланг.

$$\begin{aligned} \text{Жавоб: } C_v &= 0,722 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}; C_p = 1,012 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}; \\ C'_v &= 0,935 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}; C'_p = 1,308 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}. \end{aligned}$$

22. Ўқарорат боғлиқлигига эътибор бермасдан кислороднинг доимий ўқажмдаги ва доимий босимдаги массавий иссиқлик сизимини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } C_v = 0,655 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}; C_p = 0,916 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}$$

23. $c = \text{const}$ деб ҳисоблаб, кислороднинг босими ва ҳажми ўзгармагандаги ҳажмий иссиқлик сизимини аниқланг.

Ечиш: Икки атомлик газлар учун:

$$\mu C_v = 20,93 \text{ кЖ/кмоль}\cdot\text{К}$$

$$\mu C_p = 29,31 \text{ кЖ/кмоль}\cdot\text{К}$$

$$\text{Демак: } C'_v = \frac{\mu C_v}{22,4} = \frac{20,93}{22,4} = 0,9341 \text{ кЖ/м}^3 \cdot \text{К}$$

$$C'_p = \frac{\mu C_p}{22,4} = \frac{29,31}{22,4} = 1,308 \text{ кЖ/м}^3 \cdot \text{К}$$

24. Углерод оксид газининг ҳажми ўзгармаганда $(\mu C_{pm})_0^{1200} = 32,192$ кЖ/кмоль·гр бўлгандаги $0 \div 1200^\circ\text{C}$ ҳароратлар оралигидаги ўртача массавий ва ўртача ҳажмий иссиқлик сизимини аниқланг, Ечиш:

$\mu C_p - \mu C_v = \mu R \approx 8,314$ кЖ/кмоль·гр ифодасидан $\mu C_v \int_0^{1200}$ ни аниқлаймиз:

$$\mu C_v \int_0^{1200} = \mu C_p \int_0^{1200} - 8,314 = 32,192 - 8,314 = 23,877 \text{ кЖ/кмоль}\cdot\text{гр}$$

$$\mu C_{vm} \int_0^{1200} = \frac{\mu C_v \int_0^{1200}}{\mu_{co}} = \frac{23,877}{28} = 0,8528 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{гр}$$

$$\mu C_{vm} \int_0^{1200} = \frac{\mu C_v \int_0^{1200}}{22,4} = \frac{23,877}{22,4} = 1,0659 \text{ кЖ/м}^3 \cdot \text{гр}$$

25. $200 \div 800^\circ\text{C}$ хароратлар оралигидаги босим ўзгармаганда ҳавонинг ўртача иссиқлик сигимини аниқланг, бунда иссиқлик сигимини хароратга боглиқлигини чизикли эмас деб ҳисобланг.

Ечиш:

$$C_{pm} \int_{t_1}^{t_2} = \frac{C_{pm} \int_0^{t_2} \cdot t_2 - C_{pm} \int_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} \quad \text{ифода бўйича аниқланади. Бунинг}$$

$$\text{учун } 800^\circ\text{C} \rightarrow C_{pm} \int_0^{800} = 1,0710; \quad 200^\circ\text{C} \rightarrow C_{pm} \int_0^{200} = 1,0115$$

қийматларни ҳаво учун жадвалдан аниқлаб оламиз:

$$C_{pm} \int_{200}^{800} = \frac{1,0710 \cdot 800 - 1,0115 \cdot 200}{800 - 200} = 1,091 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{гр}.$$

V БОБ ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ

Фанни ўрганишни бошлаганимизда, техник термодинамика иккита асосий қонунга асосланади, деб айтган эдик.

Энергиянинг сақланиш қонунига биноан, энергия йўқдан бор бўлмайти, бордан йўқ бўлиб кетмайти, бир турдан иккинчи турга ўтайти. Бундай ўтишда, энергия бир турининг муайян миқдори, иккинчи тур энергиянинг шунга тенг миқдorigа айланади. Термодинамиканинг биринчи қонуни моқияти жикатидан энергиянинг сақланиш қонунидир. У системага келтирилган иссиқлик миқдори, унинг ички энергияси ва системасининг бажарилган иши орасидаги мисдорий боглиқликни белгилаб беради.

Шунга асосланиб, уни қуйидагича таърифлаш мумкин. Системага келтирилган иссиқлик миқдори,

унинг ички энергиясини ўзгартириш ва иш бажариш учун сарф бўлади.

$$Q=(U_2-U_1)+L \quad (5.1)$$

Q - системага келтирилган иссиқлик миқдори;

U_1 - жараён бошланишидаги системанинг ички энергияси;

U_2 - жараён охиридаги системанинг ички энергияси;

L - системанинг бажарган иши.

Агар биринчи қонунни дифференциал шаклда ифодаласак ва газ бажарган ишни 1 кг газ учун тааллуқли десак, у қолда (5.1) тенгламани қуйидагича ёзишимиз мумкин.

$$dq=du+dl \quad (5.2)$$

$$dl=pdV \quad (5.3)$$

десак, унда тенгламани қуйидагича ёзамиз.:

$$dq=du+pdV \quad (5.4)$$

(5.4) тенглама термодинамиканинг биринчи қонунини аналитик кўриниши яъни ички энергия кўринишидаги ифодасидир.

Энди термодинамиканинг биринчи қонуни аналитик кўринишини энтальпия ёрдамида ёзилишини кўриб чиқамиз. Бунинг учун икки соннинг дифференциаллигини ёзамиз:

$$d(pv)=pdv+vdp \quad (5.5)$$

ундан

$$pdV=d(pV)-Vdp \quad (5.6)$$

(5.6) тенгламани қисобга олиб,

$$dq=dU+d(pV)-VdP \quad (5.7)$$

(5.7) тенгламани қисобга олиб, суйидагича ёзамиз:

$$dq=d(u+pV)-Vdp \quad (5.8)$$

$$u+pV=h \quad (5.9)$$

деб белгилаймиз, натижада қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$dq=dh-Vpd \quad (5.10)$$

(5.10) тенглама термодинамика биринчи қонунининг энтальпия ёрдамида ёзилишидир.

Масалалар

26. Қенгайиш жараёнида 1 кг кислородга 262 кЖ иссиқлик келтирилаяпти. Агар унинг қарорати жараён натижасида 950 °С пасайса, газнинг бажарган иши нимага тенг? Иссиқлик сиғимининг қароратга боғлиқлигини қисобга олманг.

Жавоб: 200 кЖ/кг .

Ечиш:

1. Кислород учун (икки атомли газ)

$$\mu C_v = 20,93 \text{ кЖ/кмоль} \cdot \text{К}$$

$$C_v = \frac{\mu C_v}{\mu_{O_2}} = \frac{20,93}{32} = 0,635 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К}$$

$$\Delta U = C_v \cdot \Delta t = 0,635 \cdot 950 = 612,4 \text{ кЖ/кг}$$

$$l = q - \Delta U = 262 - 61 = 201 \text{ кЖ/кг.}$$

27. 10 кг нефть мойи қизитилса ва аралаштириб турилса, қарорати қандай ўзгаради? Бунда келтирилаётган иссиқлик миқдори $Q=200$ кЖ ва аралаштириш иши $L=36$ кЖ. Мойнинг иссиқлик сиғими 2 кЖ/кг тенг.

Жавоб: $\Delta t = 11,8^\circ\text{C}$.

28. Қуввати 100 от кучига эга бўлган ички ёнув двигатели, синов пайтида сув билан совитиладиган тормозга уланаяпти.

Агар сувнинг қарорати тормоздан ўтаётганида 400°C га кўтарилса ва иссиқликнинг 15% и тормоздан қаво билан атроф- муқитга олиб кетилаётган бўлса, совитувчи сувнинг сарфини топинг.

Жавоб: 0,373 кг/с.

29. Қуввати 500 МВт буғ турбинали электростанция, ёниш иссиқлиги $Q_p = 33,5$ МЖ/м³ бўлган табиий газни соатига 145000 м³ сарфлаётган бўлса, унинг ФИК ни аниқланг.

Жавоб: 37%.

28. Электростанциянинг козонхонасида 10 соатлик иш давомида ёниш иссиқлиги $Q_p = 29300$ кЖ бўлган 100 т тошкўмир ёқилган.

Агар иссиқлик энергиясини электр энергияга айлантириш жараёнининг ФИК 20% ни ташкил қилса, ишлаб чиқарилган электроэнергиянинг миқдорини ва станциянинг ўртача қувватини топинг.

Жавоб: 162780 кВт/с; $N_{\text{ўр}} = 16278$ кВт.

30. Қарорати 20°C 2 л суви бор идишга қуввати 800 Вт электр қизитгич жойлаштирилган. Сувнинг қайнаш қарорати 100°C гача қизиши учун қанча вақт керак бўлади?

Идишнинг атроф-муқитга йўқотадиган иссиқлигини қисобга олманг.

Жавоб: $t=30$ мин.

IV БОБ

ТЕРМОДИНАМИКА ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ТАҚЛИЛИ

6.1. ЖАРАЁНЛАРНИ ТЕКШИРИШДАГИ АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ќам ўзаро ўам атрофдаги муўит билан таъсирлашиб турувчи материал жисмлар тўпламини термодинамик система дейилади, кўриб чиқилаётган система чегарасидан ташқари бўлган барча материал жисмларни ташқи муўит деб аталади.

Агар ўолат параметрларидан лоўқал биттаси ўзгарса, у ўолда системанинги ўолати ўзгаради, яъни кўриб чиқилаётган системанинги ўзгарадиган ўолатларидан иборат бўлган термодинамик жараён содир бўлади.

Агар система тоза моддадан иборат бўлса, унинг ўолати юқорида айтиб ўтилганидек, p , v ва T координаталари системасида бирор бир сирт билан тасвирланади, параметрларни ўзгаришини тасвирловчи эгри чизикларни жараённинг эгри чизиги деб аталади. Жараён эгри чизигининги ўар қайси нуқтаси системанинги мувозанатдаги ўолатини характерлайди. Фақат система мувозанатдаги ўолатларнинг узлуксиз кетма-кетлигидан иборат жараёнларни график тасвирлаш мумкин.

5 та асосий жараёнлар мавжуддир. Улар кўйидагилар:

1. $P=\text{const}$ - изобарик жараён;
2. $V=\text{const}$ - изохорик жараён;
3. $T=\text{const}$ - изотермик жараён;

4. $dq=0$, $S=\text{const}$, $pV^\kappa=\text{const}$ - адиабатик жараён;
5. $C_n=\text{const}$, $pV^n=\text{const}$, $n=+\infty$ - политропик жараён.

Бутун жараён давомида системанинг қарорати ўзгармасдан қоладиган мувозанатдаги жараён, изотермик жараён дейилади. Тоза сувнинг очик идишда қайнаш жараёни изотермик жараёнига мисол бўла олади: то идишдаги сув қайнаб тугамагунча сув қарорати амалда ўзгармайди (агар қайнаш жараёнида атмосфера босими ўзгармаса).

Ўзгармас босимда содир бўладиган мувозанатдаги жараён и з о б а р и к жараён деб аталади. Очик идишдаги сувнинг иситилишини изобарик жараёнга мисол қилиб келтириш мумкин: сувнинг қарорати ортади ва унинг солиштирма оғирлиги ўзгаради.

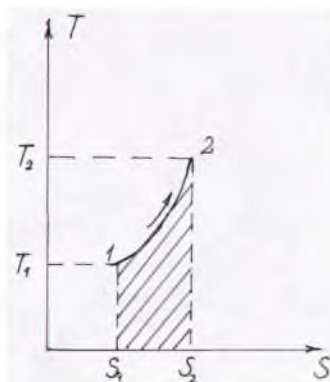
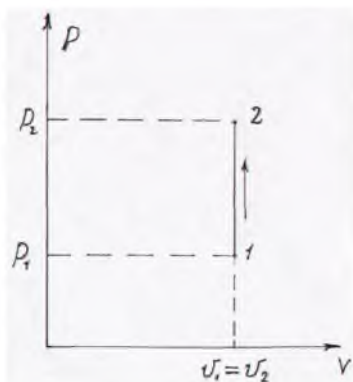
Ўзгармас қажмда содир бўладиган мувозанатлашган жараён изохорик жараён деб аталади. Сувнинг герметик ёпиқ идишда иситилиши изохорик жараёнга мисол бўла олади.

ИЗОХОРИК ЖАРАЁН

Қажм ўзгармайдиган жараёнга изохорик жараён дейилади.

$$V=\text{const} \quad (6.1)$$

Диаграммаларда қуйидагича чизилади.



а
б

1-расм а) $V = \text{const}$ жараёнининг б) $V = \text{const}$
 жараёнининг
P-V диаграммасы
T-S диаграммасы

Параметрлар орасидаги боғланиш.

Бунинг учун изохорик жараёни содир бўлишида газнинг 1 ва 2-чи нукталари учун қолат тенгламасини ёзамиз.

$$P_1 V_1 = RT_1 \quad (6.2)$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad (6.3)$$

(6.2) ва (6.3)ни бўлиб қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (6.4)$$

Ички энергиянинг ўзгариши:

$$dU = C_v dT \quad (6.5)$$

$$dU = C_v (T_2 - T_1) = C_v (t_2 - t_1) \quad (6.6)$$

Жараённинг иши:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (6.7)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунига биноан

$$dq = dU + dl$$

$V = \text{const}$ жараён бўлгани учун,

$$dl = 0 \quad (6.8)$$

$$dq = du, \quad (6.9)$$

$$q_v = C_v dt, \quad (6.10)$$

Жараённинг тақлилидан маълумки, сарфланган иссиқлик жараёни фақат ички энергиянинг ўзгариши учун сарф бўлади.

Масалалар

31. Ёпиқ идишда ҳарорати $t_1 = 10^\circ\text{C}$ ва сийракланиши $P_1 = 20$ мм сим.уст. бўлган газ жойлашган. Барометр 75 кПа ни кўрсатяпти. Газ совитилгандан кейин сийракланиш 150 мм сим.уст. га тенг бўлиб қолди.

Газнинг охириги ҳароратини топинг.

Жавоб: $t_2 = - 40,4^\circ\text{C}$.

32. Ҳажми $V = 0,5\text{ м}^3$ идишда, босими $P_1 = 6$ МПа ва ҳарорати $t_1 = 527^\circ\text{C}$ CO_2 гази жойлашган. Агар ундан 420 кЖ иссиқлик олиб кетилса, босим қанчага ўзгаради?

Жавоб: $P_2 = 0,42$ МПа.

33. Бошланғич параметрлари 0,3 МПа, 15°C ва $0,8\text{ м}^3$ бўлган ҳавонинг босимини доимий ҳажмда то 0,1 МПа гача камайтириш учун қанақа ҳароратгача совитиш керак? Бунинг учун қанча иссиқликни олиб кетиш керак?

Ҳавонинг иссиқлик сифимини доимий деб қисобланг.

Жавоб: $t_2 = - 177^\circ\text{C}$; $Q = - 329$ кЖ

Ечиш:

1. Ҳолатнинг тенгламасидан ҳавонинг массасини топамиз:

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,8}{287 \cdot 288} = 2,9 \text{ кг.}$$

2. Охирги ҳарорат

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad T_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1} = \frac{0,1 \cdot 288}{0,3} = 96 \text{ K}; \quad t_2 = -177^\circ \text{C}$$

3. Олиб кетилиши керак бўлган иссиқлик

$$Q = MC_{vm} (t_2 - t_1) \text{ бу ерда}$$

$$C_{vm} = \frac{\mu C_v}{\mu} = \frac{20,93}{28,95} = 0,722$$

$$Q_v = 2,9 \cdot 0,722 \cdot 10^3 \cdot (-177 + 15) = -329 \text{ кЖ}$$

34. Диаметри 0,4 м цилиндрда, босими 0,29 МПа ва ҳарорати 15°C бўлган 80 л ҳаво жойлашган.

Ҳавонинг иссиқлик сиғимини доимий деб ҳисобланган ҳолда, агар ҳавога 83,7 кЖ иссиқлик келтириляётган бўлса, поршень жойига силжимасдан қолиши учун унга таъсир қилаётган кучини қанчага ошишини аниқланг.

Ечиш:

1. Ҳавонинг массасини топамиз $80 \text{ л} = 0,08 \text{ м}^3$

$$M = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{0,29 \cdot 10^6 \cdot 0,08}{287 \cdot 288} = 0,28 \text{ кг}$$

2. Ҳавонинг охирги ҳароратини, t_2 деб,

$$Q_v = MC_{vm} (t_2 - t_1)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q}{MC_{vm}} + 15 + \frac{83,7}{0,28 \cdot 0,722} = 418,5^\circ \text{C}$$

3. Босим

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1} = \frac{0,29 \cdot 10^6 (418,5 + 273)}{288} = 0,66 \text{ МПа}$$

4. Поршенга таъсир қилиши керак бўладиган кучнинг ортиши:

$$G = P_2 \cdot F = 0,66 \cdot 10^6 \frac{\pi d^2}{4} = \frac{706 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 0,16}{4} = 85,5 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

35. Қозон қурилмасининг тутун газлари ҳаво қизитгич орқали ўтиб кетяпти. Газларнинг бошланғич ҳарорати $t_{г1}=300^\circ\text{C}$, охириги $t_{г2}=160^\circ\text{C}$, газнинг сарфи 1000 кг/соат га тенг. Ҳавонинг бошланғич ҳарорати $t_{х1}=15^\circ\text{C}$ ва сарфи 910 кг/соат.

Агар ҳаво қизитгичнинг йўқотиши 4 % бўлса, қизиган ҳавонинг ҳароратини топинг. Қозондан чиқиб кетаётган тутун газларининг ва ҳавонинг ўртача иссиқлик сиғимларини ($C_{рм}$) тегишли равишда 1,0467 ва 1,0048 кЖ/кгК ларга тенг деб қабул қилинг.

$$\text{Жавоб: } t_{х2}=168,9^\circ\text{C}.$$

37. Ички ёнув двигателининг цилиндрида ҳарорати 500°C ҳаво жойлашган. Иссиқлик келтирилиши натижасида қавонинг қажми 2,2 баробар ошди. Қавонинг кенгайиш жараёнида босим деярли ўзгармай қолди.

Қавонинг охириги ҳарорати, солиштирма иссиқликни ва ишни топинг. Иссиқлик сиғимини ҳароратга эгри чизиқли боғлиқ деб қисобланг.

$$\text{Жавоб: } t_2 = 1428^\circ\text{C}; q_p = 1088,7 \text{ кЖ/кг};$$

$$l = 266,3 \text{ кЖ/кг}.$$

38. Компрессордан чикаётган 190°C ли қаво совитгичда доимий $P=0,5 \text{ МПа}$ босимда то 20°C ҳароратгача

совитиляпти. Ушбу параметрларда компрессорнинг унумдорлиги $30 \text{ м}^3/\text{соатга}$ тенг.

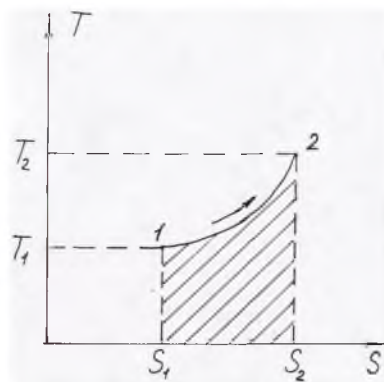
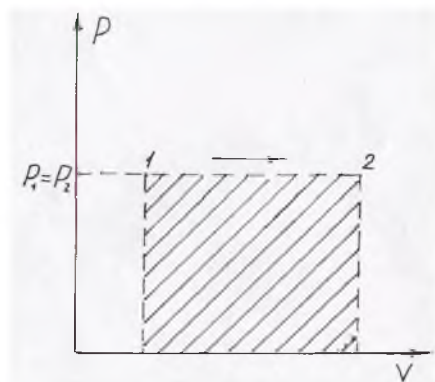
Совитувчи сувнинг харорати 10°C га ошган бўлса, унинг соатига бўладиган сарфини топинг.

Жавоб: 733 л/соат .

ИЗОБАРИК ЖАРАЁН

Термодинамик жараёнда босим ўзгармасдан қоладиган жараёнга изобарик жараён дейилади ва куйидаги тенглама орқали ёзилади, $P = \text{const}$

Бу жараённи ишчи ва иссиқлик диаграммада куйидагича чизилади:



2-расм. а) $P = \text{const}$ жараёнининг жараёнининг

P - V диаграммаси

б) $P = \text{const}$

T - S диаграммаси

Газларнинг қолат тенгламасига биноан, бошланғич ва охири нуқталар учун:

$$P_1 V_1 = RT_1 \quad (6.11)$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad (6.12)$$

(6.11) ни (6.12) га бўлиб, куйидагини ҳосил қиламиз.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const} \quad (6.13) \text{ Гей-Люссак қонуни}$$

Ички энергиянинг ўзгариши қуйидагича ёзилади:

$$dU = C_v dT; \quad \Delta U = C_v (T_2 - T_1) = C_v (t_2 - t_1) \quad (6.14)$$

Жараённинг ишини қуйидагича ёзамиз.

$$dl = p dV, \quad l = p (V_2 - V_1) \quad (6.15)$$

Жараённи иссиқлиги:

$$dq = dU + dl \quad 31$$

$$(6.16);$$

$$Q_p = C_p dT \quad (6.17);$$

$$Q_p = C_p (T_2 - T_1) \quad (6.18);$$

Жараённинг тақлили шуни кўрсатдики, берилган иссиқлик миқдори қисман иш, қисман ички энергиянинг ўзгариши учун сарфланади.

Масалалар

39. Қозон қурилмасининг ҳаво қизитгичида ҳаво 20°C дан то 250°C гача, 0,1 МПа доимий мутлас босимда иситиляпти. Ҳавонинг иссиқлик сиғимининг ҳароратга боғлиқлигини ҳисобга олган ҳолда, 1 кг ҳавони иситиш учун сарф бўладиган иссиқликни ва ҳавонинг кенгайиши натижасида бажариладиган солиштирма ишни аниқланг.

$$\text{Жавоб: } q = 234,6 \text{ кЖ/кг; } L = 66 \text{ кЖ/кг.}$$

Ечиш:

1. Қизитилаётган ҳавонинг кўрсатилган оралис учун доимий босимдаги ва ҳажмдаги массавий иссиқлик сиғимини $\mu C_{pm} \Big|_{20}^{250}$ топамиз:

а) бунинг учун жадвалдан

$$\mu C_p \Big|_0^{250} = 28,827 + 0,002708 \cdot 250 = 29,504 \text{ кЖ/кмол} \cdot \text{К}$$

$$\mu C_p \Big|_{20}^{250} = 28,827 + 0,002708 \cdot 20 = 28,881 \text{ кЖ/кмол} \cdot \text{К}$$

Кейин

32

$$\mu C_{pm} \Big|_{20}^{250} = \frac{29,504 \cdot 250 - 28,81 \cdot 20}{250 - 20} = \frac{7376 - 577,62}{230} = 29,5581$$

кЖ/кмоль·К

? = 28,95 кГ/кмоль; $R = 0,287195 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К}$.

б) $C_p \Big|_{20}^{250}$ га қийматни аниқлаймиз.

$$\mu C_{pm} \Big|_{20}^{250} = \frac{\mu C_p \Big|_{20}^{250}}{\mu} = \frac{29,558}{28,95} = 1,021 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К}$$

в) Майер қонунига асосан

$$C_p - C_v = R \text{ дан: } C_v \Big|_{20}^{250} = C_p \Big|_{20}^{250} - R = 1,021 - 0,287 = 0,734 \text{ кЖ/кг} \cdot \text{К}$$

2. $P = \text{const}$ жараёнида сарф бўладиган иссиқлик миқдори

$$q_p = C_{pm} \Big|_{20}^{250} (t_2 - t_1) = 1,021 \cdot 230 = 234,83 \text{ кЖ/кг}$$

1. $P = \text{const}$ жараёнда кенгайиш иши:

$$l = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$$

ёки биринчи қонунга асосан

$$l = q - \Delta U$$

а) Агар биринчи усул бўйича ҳисобласак, қолат тенгламасидан ҳавонинг бошланғич ва охириги солиштирма қажмларини топишимиз зарур.

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287,195(20 + 273)}{0,1 \cdot 10^6} = 0,842 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$v_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287,195(250 + 273)}{0,1 \cdot 10^6} = 1,502 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Унда:

$$l = P(v_2 - v_1) = 0,1 \cdot 10^6(1,502 - 0,842) = 0,66 \cdot 10^6 = 66,0 \text{ кЖ/кг};$$

б) Агар биринчи қонун бўйича топмоқчи бўлсак, жараён давомида ички энергиянинг ўзгаришини аниқлашимиз керак:

$$\Delta U = c_{vm}(T_1 - T_2) = 0,734 \cdot (523 - 293) = 168,774 \text{ кЖ/кг}$$

$$\text{унда } l = q - \Delta U = 234,83 - 168,774 = 66,056 \text{ кЖ/кг}.$$

40. Ички ёнув двигателида, доимий босимда ёниш жараёнида, газнинг ҳарорати $t_1 = 1500^\circ\text{C}$ гача ошяпти.

Газ ҳавонинг хоссаларига эга деб, 1 кг газнинг кенгайиш ишини аниқланг.

Жавоб: 287 кЖ.

41. Газга, доимий босимда келтирилаётган иссиқлик, унинг ички энергиясини ? згаришига ва иш бажаришга сарф бўлаяпти. Агар изобар қиздирилаётган 1 кг ҳавонинг кенгайиш иши 20,5 кЖ ни ташкил қилса,

келтириладиган иссиқлик миқдорини ва ҳаво ҳароратининг ўзгаришини аниқланг. Иссиқлик сиғимини доимий деб ҳисобланг.

Жавоб: $\Delta t = 71,4^\circ\text{C}$; $Q = 71,8 \text{ кЖ/кг}$.

42. Ҳаракатчан поршенли цилиндрда, $0,3 \text{ м}^3$ ҳаво доимий $0,6 \text{ МПа}$ босимда кенгайяпти ва 100 кЖ иш бажаряпти. Агар $t_1 = 10^\circ\text{C}$ бўлса, қавонинг охириги ҳароратини топинг.

Жавоб: $t_2 = 167^\circ\text{C}$.

43. Ички ёнув двигателининг цилиндри ичида сиқилиш жараёнининг охирида мутлақ босими 4 МПа ва ҳарорати 550°C , $Q = 150 \text{ кЖ/кг}$ иссиқлик келтирилгандан кейинги параметрларни аниқланг, агар иссиқликнинг $50\% \nu = \text{const}$ да 50% и $P = \text{const}$ да келтириладиган бўлса. Ишчи жисм (газ) ҳавонинг хоссаларига эга деб ҳисобланг. Иссиқлик сиғимининг ҳароратга боғлиқлигини ҳисобга олманг.

Жавоб: $t = 728^\circ\text{C}$; $P = 4,5 \text{ МПа}$; $\nu = 0,059 \text{ м}^3/\text{кг}$.

ИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН

Ҳарорат ўзгармайдиган жараёнга изотермик жараён дейилади, тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$T = \text{const} \quad (6.19)$$

1-чи ва 2-чи ҳолатлар ўзгаришидаги ҳолат тенгламасини ёзамиз:

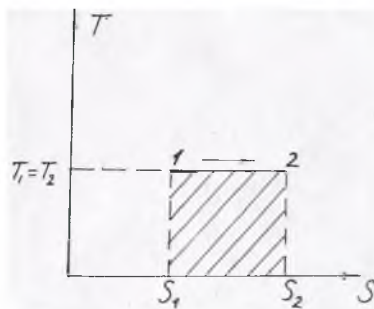
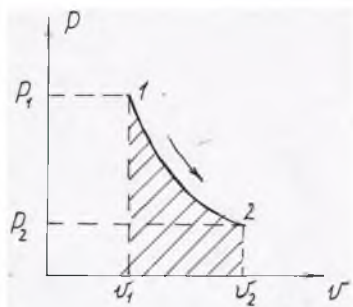
$$p_1 V_1 = RT_1 \quad (6.20)$$

$$p_2 V_2 = RT_2 \quad (6.21)$$

6.20 ни - 6.21 га бўламиз:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (6.22)$$

(6.22) Бойль-Мариотт қонунининг аналитик ифодасидир. Изотермик жараёни P-V ва T-S диаграммасыни қуйидаги чизмаларда чизамиз.



3-расм. а) T=const жараёнининг жараёнининг
P-V диаграммасы б) T=const жараёнининг T-S диаграммасы

T=const бўлгани учун $\Delta T=0$ бўлади. Шунинг учу $\Delta U=C_v$
(T_2-T_1)=0 (6.23)

Жараённинг бажарилган ишини қуйидагича ёзамиз:

$$d_l p = p dV \quad (6.24)$$

(6.24) ни интегралласак

$$L_p = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (6.25)$$

$\frac{RV}{V} = RT$ бундан $P = \frac{RT}{V}$ ни аниқлаймиз ва олиб бориб

(6.25) га қўямиз.

$$L = \int_{V_1}^{V_2} RT \frac{dV}{V} \quad (6.26)$$

$$L = RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6.27)$$

35

Жараённинг энтропиясининг ўзгаришини қуйидагича ёзамиз:

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6.28)$$

$$\Delta S = R n \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (6.29)$$

$T = \text{const}$ бўлгани учун $dU = 0$ бўлади, шунинг учун

$$dq = dL \quad (6.30)$$

Тақлил шуни кўрсатадики, келтирилган иссиqliк иш бажариш учун сарф бўлади.

Масалалар

44. 1 кг ҳавони изотермик сиқиш натижасида босими 0,1 МПа дан то 0,5 МПа гача кўтариляпти. Ҳажмининг камайишини 10 °C ва 100 °C ҳароратлар учун аниқланг.

Жавоб: $t = 10^\circ\text{C}$; $\Delta V = 0,65 \text{ м}^3$;

$t = 100^\circ\text{C}$; $\Delta V = 0,86 \text{ м}^3$.

Ечиш:

а) 10 °C учун қолат тенгламасидан

$$V_1 = \frac{RT}{P} = \frac{287,195 \cdot 283}{0,1 \cdot 10^6} = 0,8128 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P = 0,1 \cdot 10^6$$

$$V_2 = \frac{RT}{P} = \frac{287,195 \cdot 283}{0,5 \cdot 10^6} = 0,1626 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$P = 0,5 \cdot 10^6$$

Демак, $v_1 - v_2 = 0,65 \text{ м}^3/\text{кг}$

б) 100°C учун қолат тенгламасидан

$$v_1 = \frac{287,195 \cdot 373}{0,1 \cdot 10^6} = 1,07 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$v_2 = \frac{287,195 \cdot 373}{0,5 \cdot 10^6} = 0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$$

демак: $v_1 - v_2 = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг}$

45. Ҳажми 40 л баллонда жойлашган ва мутлаас босими 10 МПа ҳарорати $t=15^\circ\text{C}$ бўлган азот билан, сифими 100 см³ электр лампа колбасининг қанчасини тўлдириш мумкин, агар колбанинг ичида, азот ўзининг олдинги ҳароратида 200 мм сим. уст. га тенг сийракланишга эга бўлиши керак бўлса.

Жавоб: 54500 колба.

46. Цилиндрда поршень тагида мутлаас босими $P_1 = 0,12$ МПа ҳаво жойлашган. Агар поршенга қўшимча равишда $G = 5$ кг юк қўйилса, поршеннинг силжишини ва изотермик сиқиш жараёнининг охиридаги P_2 босимини топинг.

Поршеннинг диаметри $d=100$ мм, бошланғич ҳолатининг баландлиги $h_1=500$ мм.

Жавоб: $P_2 = 0,12625$ МПа.

47. $0,3 \text{ м}^3$ кислороднинг изотермик кенгайиши натижасида босим $0,3$ МПа дан то $0,1$ МПа гача пасаяди. Агар $t=20^\circ\text{C}$ бўлса, охирги ҳажмни ва кенгайишини аниқланг.

Жавоб: $V_2=0,9 \text{ м}^3$; $L=102 \text{ кЖ}$

Ечиш:

1. Охирги қажм

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad V_2 = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,3}{0,1 \cdot 10^6} = 0,9 \quad \text{м}^3$$

2. Кенгайиш иши

$$L = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = 259,9 \cdot 296 \cdot \ln \frac{0,9}{0,3} = 260 \cdot 296 \cdot \ln 0,3 = 102 \text{ кЖ.}$$

48. 1 кг CO_2 нинг изотермик кенгайиши натижасида унинг қажми уч баробар ошяпти ва 120 кЖ га тенг иш бажарияпти. CO_2 нинг кенгайиш жараёнидаги ҳароратини аниқланг.

Жавоб: $t = 305^\circ \text{C}$.

ААЕАААОЕЕ ? А? АЁИ

37

Nenoiaaa enneseee eaeoe?eeianeade aa oiaai ieeianeade o?oi, $dq=0$. Ooieia o?oi yio?iiey ? сaa?iae sieaae: $S=\text{const}$. Ташси муқит билан иссислик алмашмайдиган жараёнга адиабатик жараён дейилади, яъни $dq=0$,

$$PV^\kappa = \text{const} \quad (6.30)$$

Е? ?еа оо?еаиеее, ао ? а?а?да ? $\square \grave{\text{a}}\text{i}$, $V \square \grave{\text{a}}\text{i}$, $\text{O} \square \grave{\text{a}}\text{i} \text{ æçãäðäè$. Áóëàð îðàñèäðäè áíëäàíèøíè òíèèø ó÷óí оа?íiaeiaieeaeia I siioieie Æaies:

$$dq = c_p dT - VdP \quad (6.31)$$

$$dq = c_v dT + PdV \quad (6.32)$$

(6.31) не (6.32) аа а? eaies

$$\frac{c_p dT}{c_v dT} = -\frac{VdP}{PdV} \quad \frac{C_p}{C_v} = -\frac{VdP}{PdV} \quad (6.33)$$

æe

$$\frac{c_p}{c_v} = \kappa \quad (6.34)$$

(6.34) - аааааааа к? ?паоке?е дейилади.

$$\kappa \ln P = - \ln V \quad (6.35)$$

$$\ln P = - \kappa \ln V \quad (6.36)$$

$$P_1 V_1^\kappa = P_2 V_2^\kappa, \quad (6.37)$$

аоіааі:

$$PV^\kappa = \text{const} \quad (6.38)$$

(6.38)іе оаіааіа ааааааоооо ? а?а?іаіа оаіааіаіае аааааааа. Үіае іа?аіао?еа? і?аіааааае аі□ёаіёёіёё оііаіаіае:

Босим ва ќажм боҗланиши:

$$\left(\frac{P_1}{P_2} \right) = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\kappa. \quad (6.39)$$

Босим ва ќарорат боҗланиши:

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (6.40)$$

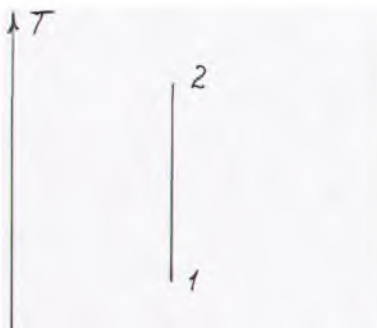
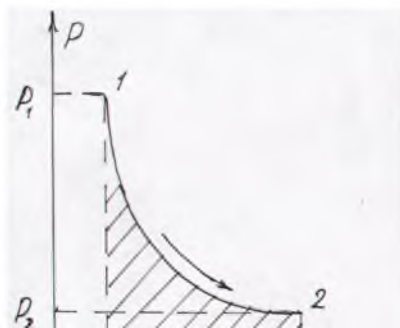
Ќажм ва ќарорат боҗланиши:

$$\left(\frac{T_2}{T_1} \right) = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \quad (6.41)$$

Ички энергиянинг ? згариши суйидаги ифодадан анісланади:

$$dq = \Delta U + l = 0, \quad \Delta U = C_v(T_2 - T_1) \quad (6.42)$$

Жараённинг P-V ва T-S диаграммасини суйидагича чизамиз:



а

б

4-расм. а) адиабатик жараённинг P-V диаграммасы;
б) адиабатик жараённинг T-S диаграммасы.

Бажарилган иш сўйидаги ифодадан
анисланади:

$$l = \frac{R}{K-1} (T_1 - T_2) = \frac{1}{K-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \quad (6.43)$$

$$l = C_v (T_1 - T_2) \quad (6.44)$$

ёоие

$$l = -\Delta U \quad (6.45)$$

Иссислик мисдори сўйидаги ифодадан анисланади:

$$q = 0. \quad (6.46)$$

Жараённинг энтропиясининг ўзгариши

$$S = \text{const.} \quad (6.47)$$

Ўзгаришнинг тақлиле ооие еў ўнаооооо, оо
Ўзгаришаа ео еўеё ўаўаеуёнг ў сааўеое □ eniaеаа
aiaеаа ioeўеаае. 39

ПЕЕО? ПЕЕ ? А? АЁ!

Ўзгаришаа оаiaеaiane - $PV^n = \text{const.}$ Taiaеaiaie
еаеоеўеб ўesaўео оўoi оаўiaеaiaieeаieia биринчи

siioieie e?ee yia?aeu ?aieaa ?seeeoeienr eoiadneie e? ?aiec:

$$dq=C_n dT=C_v dT+PdV \quad (6.48)$$

$$dq=C_n dT=C_p dT-VdP \quad (6.49)$$

(6.48) ie (6.49) aa a? eaiiec:

$$\frac{(C_n - C_v)dt}{(C_n - C_p)dt} = -\frac{VdP}{PdV}; \quad C_n = C_v \frac{n - \kappa}{n - 1} \quad (6.50)$$

$$\frac{C_n - C_v}{C_n - C_p} = -\frac{VdP}{PdV} \quad (6.51)$$

$$\frac{C_n - C_v}{C_n - C_p} = n \quad (6.52)$$

aaa aaeaieneane,

$$n = -\frac{VdP}{PdV}$$

ae

$$n = -\frac{dP}{P} = -\frac{dV}{V}; \quad (6.53)$$

$$n \ln P = -\ln V \quad (6.54)$$

ундан

$$PV^n = \text{const}, \quad (6.55)$$

(6.55) oaiadeia iieeo?iiee ? a?a?ieia oaiadeiane aaeaeae.

Yiae ia?aiao?ea? i?aneaae ai□ēāiēøiē aiesaeiee. Босим ва кјжм орасидаги боћланиш:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^n \quad (6.56)$$

Босим ва кјрорат орасидаги боћланиш:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (6.57)$$

Қарорат ва қажм орасидаги боғланиш:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \quad (6.58)$$

Ao ? a? a?ieia P-V aa T-S aead?aiiaa e? ?eieoe
 soeedaae?aae?:

1) $n=0$; $P=\text{const}$;

2) $n=1$; $PV=\text{const}$;

3) $n=k$; $PV^k=\text{const}$;

4) $n = +\infty$; $V = \text{const}$

E?ee yia?aeuiehg ? caa?eoe:

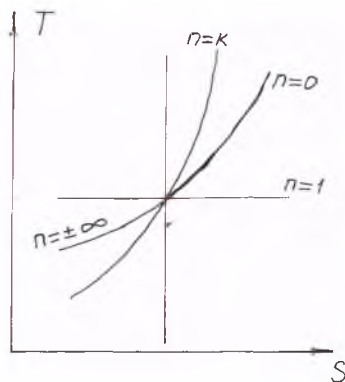
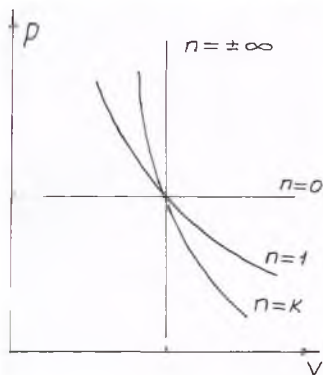
$$\Delta U = C_v \Delta T. \quad (6.59)$$

? a? a?ieia eoe:

$$I = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) \quad (6.60)$$

$$I = \frac{1}{n-1} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \quad (6.61)$$

$$I = \frac{RT}{n-1} \left[1 - \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad (6.62)$$



6

б) политропик жараённинг T-S диаграммасы.

$$q = C_n(t_2 - t_1) \quad 41 \quad (6.63)$$

Yio?iieyieia ? саа?еое суйидаги ифодадан анисланади:

$$\Delta S = C_n \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (6.64)$$

Ao ? a?aqie тақлил seeo ooie e? ?naoaeae,
 iieeo?iiee ? a?aq yia aninee ? a?aq a? eea sieai
 e? ?ea ?eseedai □àìà æàðà, íèð ìïèèððìi êœpnaoke?e n
 ieia ? caa?eoe, yuie n=±∞ aa?a iaoe? anea enoaeai
 ae? ? a?aqaa eaeaa, oieia □àð àèð
 oa?aeoa?enoeaeaneie oiieoeiec ioieei a? eaae. Ao
 ? a?aqie e? ?ea ?eseoaa oie o?oa ay?okaa a? eea
 eaeoe?eedai aa ieea eaoeedai ennesees iesai?ie iaioee
 ?ee ionqao yeqieeaeie aieseoaeiec ioieei a? eaae.

Eqiqqeeo ? q?q?e:

l ay?ok: $n < 1$ - enneseee eaeoe?eeade $q > 0$, aacieia e?ee
yia?aeayne i?oade $\Delta S > 0$;

II ay?ok: $1 < n < k$ - enneseee eaeoe?eeade $q > 0$, aacieia e?ee via?aeayne eaiayae $\Delta U < 0$;

III ay?ok: n>k- enneseee ieed eaoeeade q<0, aacieia e?ee yia?aeayne eaiayae. $\Delta U < 0$.

Neseeeeo ? a? a?e:

l ayʔok - enneseee ieea eaoeeaae, aacieia eʔee
yiaʔaeyne eaiayae;

ll ay?ok - enneseee ieea eaoeeaae, aacieia e?ee
yia?aeayne i?oaae;

III ay?ok - enneseee eaeoe?eeade, aacieia e?ee
yia?aeayne i?oade.

Ооiaae seeea aec aninee ? a? a?ea?ieia
тақлилеie e? ?ea ?esaeе.

Масалалар

42

49. 1 кг қаво бошланғич қарорати 15°C ва бошланғич босими 1 бар билан адиабатик сисилади. Ишни, охирги қажмни ва охирги қароратни анисланг.

Адиабатик жараёндаги параметрлар орасидаги боғланишдан суйидагини топамиз.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

бундан: $T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$ $\kappa = 1,4$ деб сабул силамиз.

$$T_2 = 288 \cdot 8^{\frac{0,4}{1,4}} = 288 \cdot 8^{0,286} = 288 \cdot 10811 = 521 \text{ K}$$

$$T_2 = 521 - 273 = 248^\circ\text{C}.$$

Сарфланган иш суйидаги ифодадан анисланади:

$$\ell = \frac{R}{\kappa - 1} (T_1 - T_2) = \frac{0,287}{0,4} (288 - 521) = -167,2 \text{ кЖ/кг}.$$

Охирги қажмни қолат тенгламасидан топамиз:

$$P_1 V_1 = RT_2 \text{ дан: } V_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 521}{8 \cdot 10^5} = 0,74 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

50. Қаво 4,5 бар босим билан 1,2 бар босимгача кенгайганда, унинг қарорати – 45 °C гача совийди. Бошланғич қароратни ва 1 кг қавонинг бажарган ишини анисланг.

Жавоб: $t_1 = 61^\circ\text{C}$; $\ell = 75,3 \text{ кЖ/кг}$.

51. $t_1=25^{\circ}\text{C}$ қароратли қаво адиабатик совиши натижасида унинг қарорати $t_2=-55^{\circ}\text{C}$ б? лади, босим 1 бар гача камаяди. Бошланғич босимни, 1 кг қавонинг кенгайишидаги ишини топинг.

Жавоб: $P_1=3$ бар; $\ell=57,4$ кЖ/кг.

52. Икки атомли газ билан политропик жараён бажарилади. Политроп к? рсаткичи 1,18. Қарорат 150°C дан -14°C гача пасаяди. Бунинг натижасида 149 кЖ/кг иссислик сарфланади. Сандай газ эканлигини анисланг. Политропик жараёнда иссисликни суйидаги ифодадан анисланади.

$$Q = C_V \frac{n-k}{n-1} (t_2 - t_1)$$

43

$$149 = C_V \frac{1,18-1,4}{1,18-1} (-14-150)$$

$$149 = C_V \frac{-0,22}{0,18} (-164)$$

$$149 = 200 C_V$$

$$C_V = \frac{149}{200} = 0,745 \text{ кЖ/кг К}$$

Иссислик сийимининг сиймати $C_V=0,745$ кЖ/кгК

Энди ? ни топамиз:

$$\mu = \frac{\mu c_V}{c_V} = \frac{20,33}{0,745} = 28 \text{ кг/кмоль.}$$

Демак азот гази экан.

53. 1 кг аргон гази берилган б? либ, унинг бошланғич босими 1,8 МПа б? либ, политропик жараён бажарилиши натижасида унинг босими $P_2=2P_1=3,6 \cdot 10^6$

Па гача ? згаради ва қажми $V_2=0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ гача ? згаради.
Бажарилган ишни ва иссиқликни анисланг.

Жавоб: $l=146 \text{ кЖ/кг}$; $q=453 \text{ кЖ/кг}$.

54. 1 кг азотни политроп сиқиш натижасида 100 кЖ иссиқлик олиб кетиляпти ва 150 кЖ иш сарфланяпти. Агар газнинг бошланғич қарорати 15°C бўлса, унинг охири қароратини топинг.

Жавоб: $t_2 = 81,8^\circ\text{C}$

55. Бошланғич қолат параметрлари $P_1=0,11 \text{ МПа}$ ва $t_1=-10^\circ\text{C}$ политроп сиқиш жараёнида қажм то $1,1 \text{ м}^3$ гача камайяпти ва босим то $0,45 \text{ МПа}$ гача ошяпти.

Сиқилиш ишини ва қавонинг охири қароратини топинг.

Жавоб: $n=1,4$; $Q=0$; $L=-412 \text{ кЖ}$; $t_2=121^\circ\text{C}$

56. Бошланғич параметрлари $P_1=0,9 \text{ МПа}$ ва $t_1=20^\circ\text{C}$ дан то $P_2=1,0 \text{ МПа}$ гача бўлган 1 кг қавонинг сиқилиш ишини ва охири қароратини изотермик, адиабатик ва политроп сиқилиш жараёнлари учун таққосланг. ($n=1,25$)

Жавоб: $l_{из}=-202,2 \text{ кЖ/кгК}$.

VII БОБ

ТЕРМОДИНАМИКАНИНГ II СОНУНИ

Асосий тушунчалар

Термодинамиканинг биринчи сонунини ёки умуман айтганда энергиянинг сасланиш ва бир турдан иккинчи турга ўтиш сонунини, жараёнларни фазат энергетик баланс нустай назаридан ўрганади. Бу сонун энергиянинг бир турдан иккинчи турга ўтишига чегара

с? ймайди. Термодинамиканинг биринчи сонунига асосан, агар иссиqliк мисдорининг барча сисми умумий бажариладиган ишга эквивалент б? лса, иссиqliк мисдорини ишга ёки ишни иссиqliк мисдорига айлантириш имконияти мавжуд.

Бу албатта, ишни иссиqliк мисдорига айлантиришда т? ғридир. Масалан, жисмни ишсалиниш й? ли билан сизитганимизда, қосил силинган иссиqliк мисдори, бажарилган ишга тенг б? лади, ёки электр токини саршилиқдан ? тказиш й? ли билан электр энергиясини иссиqliк энергиясига айлантириш мумкин. Лекин иссиqliк мисдорини ишга айлантиришда маълум чегара мавжуд. Агар бу чегара б? лмаганда эди, муқитдаги жисмларни совитиш й? ли билан олинган иссиqliк мисдорини ишга айлантириш мумкин б? ларди. Шундай силиб, термодинамиканинг биринчи сонунини жараённинг й? налиши қасида кеч нарса англамайди ва содир б? лаётган жараёнларнинг й? налишига бу сонуннинг кеч бир асосаси й? сдир.

Термодинамиканинг иккинчи сонунини эса физик жараённинг й? налиши, яъни сай томонига сараб ? таётганлигини англаувчи сонундир.

Маълумки, иссиqliк мисдори сизитилган жисмдан унга нисбатан совуspos жисмга ? тади, агар бу икки жисм контактда б? лса, албатта. Термодинамиканинг биринчи сонунига асосан, бир жисм сабул силадиган иссиqliк мисдори, иккинчи жисм берган иссиqliк мисдорига тенг б? лиши лозим, агар жараён давомида иш бажарилмаса, бу сонун иссиqliк мисдорининг тескари томонга сараб ? тишини, яъни совуs жисмдан иссиs жисмга ? тишини маълум силмайди. Лекин тажрибалар шуни к? рсатадики, иссиqliк мисдори совуs жисмдан иссиs жисмга ? з-? зича ? тмайди. Икки жисм орасида ? з-? зича иссиqliк алмашинуви

вастида, исчислик мисдорининг сайси жисмга ? тиши лозимлиги масаласи термодинамиканинг сонунига тааллуслидир.

Термодинамиканинг иккинчи сонун энергиянинг бир турдан иккинчи турига ? тишига эга б? лган жараёнларга тааллуслидир. Масалан, бирор саттис жисм юсоридан ерга тушаётганда, унинг потенциал энергияси кинетик энергияга айлана боради ва келиб ерга урилган пайтда, унинг механик энергияси исчислик энергиясига айланади. Термодинамиканинг биринчи сонунига асосан, исчислик энергияси сайтиб механик энергияга айланса, жисм дастлабки баландлигига к? тарилиши лозим. Термодинамиканинг иккинчи сонун эса табиатда бундай қодиса б? лиши мумкин эмаслигини англатади.

Умуман, к? плаб ? тказилган тажрибалар шуни к? рсатадики, энергиянинг барча тури исчислик энергиясига т? ла ? тиши мумкин, аммо исчислик энергияси бошса турдаги энергияга сисман ? тади. Тажрибалардан олинган бу икки далил термодинамиканинг иккинчи сонун таърифлашга имкон беради. Бу сонун т? ла физик жараёнларнинг й? налишини анислаганлиги сабабли, унга турлича бир-бирига эквивалент б? лган таърифлар берилган.

Клаузиус термодинамиканинг иккинчи сонунининг суйидагича таърифлайди:

Исчис жисмдан совус жисмга исчислик мисдори беришдан ташсари кеч сандай ? згариш р? й бермайдиган жараён сайтмас жараён б? лади, ёки бошсача силиб айтганда, системада кеч сандай ? згариш б? лмай туриб исчислик мисдори ? з-? зича совус жисмдан унга нисбатан исчис б? лган жисмга ? тмайди.

Ишнинг исчисликка айланиши жараёнидан ташсари, система қолатида кеч сандай ? згариш

б? лмаса, бундай жараён сайтмас б? лади; ёки бошсача силиб айтганда, қарорати бир хил б? лган жисмдан олинган барча иссилик мисдорини, система қолатида бошса кеч сандай ? згариш силмай туриб, ишга айлантириб б? лмайди.

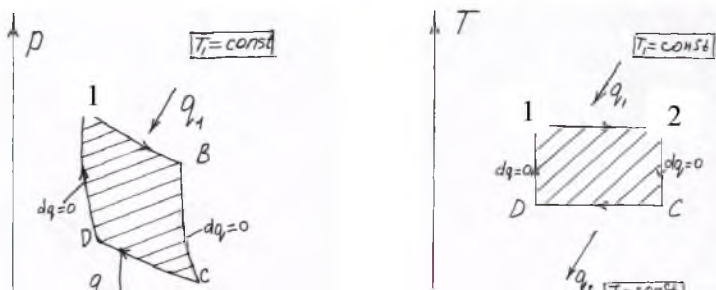
Иккинчи турдаги перпетуум-мобиле ясаш мумкин эмас.

Иккинчи турдаги перпетуум-мобиле деб, бир жараёни даврий равишда такрорлаб, системадаги барча иссилик мисдорини ишга айлантирадиган двигателга айтилади.

47

КАРНО ЦИКЛИ ВА УНИНГ ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Сади Карно номи билан боғлиқ б? лган цикли к? риб чисамиз, Карно цикли т? ртта жараёндан ташкил топган б? либ, булардан икkitаси изотермик кенгайиш ва изотермик торайиш, адиабатик кенгайиш ва адиабатик торайиш жараёнлари остида (6-расм) **1, 2, 3, 4** нусталарида кесишади. Шу 12341 цикли Карно цикли б? лади. Карно циклини қосил силмос учун, иситгич, совитгич ва ишчи жисм б? лмоғи лозим. Ишчи жисм сифатида бир моль идеал газни олайлик. Шуни сайд силиб ? тмос лозимки, қар бир изотермик жараён вастида (расмда 1-2, 3-4 эгри чизислар), иссилик манбаининг (иситгич ёки совитгичнинг) қарорати ишчи жисм қароратига тенг силиб олинади, акс қолда иссилик алмашинуви сайтмас жараёни беради.





а

б

- 6-расм. а) Карно циклининг P-V диаграммасы;
 б) Карно циклининг T-S диаграммасы.

Система (ишчи жисм) 1(P_1, V_1) ҳолатидан 2(P_2, V_2) ҳолатига изотермик ($T=T_1$) ? тсин. У ҳолда, система сабул силадиган иссиqliк мисдори иш бажаришга сарф б? лади,

$$Q_1 = L_1 = RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (7.1)$$

С? нгра, системани 2(P_2, V_2) ҳолатидан 3(P_3, V_3) ҳолатигача адиабатик кенгайтирамиз. Бу ҳолда, система ички энергия қисобига иш бажариб, системанинг қарорати T_1 дан T_2 гача пасаяди ($T_1 > T_2$):

$$L = C_V (T_1 - T_2). \quad (7.2)$$

Энди 3(P_3, V_3) ҳолатидан 4(P_4, V_4) ҳолатигача системани изотермик сисамиз. Бунда системанинг қажми кичрайганлиги туфайли, унинг қарорати к? тарилишга интилади. Лекин, жараён изотермик б? лганлиги сабабли, система маълум бир Q_2 иссиqliк мисдорини совитгичга узатади:

$$Q_2 = L_3 = RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}. \quad (7.3)$$

Охирида, системани 4(P_4, V_4) ҳолатдан, 1(P_1, V_1) ҳолатга келгунга садар, адиабатик сисиладики, унинг қарорати T_2

дан T_1 гача к? тарилади. Бу қолда бажариладиган иш эса,

$$L_4 = C_y(T_4 - T_1) \quad (7.4)$$

б? лади.

Шундай силиб, цикл давомиди умумий энергия алмашинуви суйидагича характерланади: система юсори қароратга эга б? лган манбадан Q_1 иссислик мисдорини сабул силади. Шу иссислик мисдорининг $Q_1 \cdot \frac{T_1}{T_2}$ - сисми совитгичга узатилади, солган $Q_1 \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ - сисми эса, системанинг ташси муқит устидан иш бажаришига сарф б? лади.

Юсорида биз текширган идеал газ учун, квазистатик Карно циклининг фойдали иш коэффициентини суйидаги к? ринишга эга б? лади.

$$\eta^k = \frac{l_4}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7.5)$$

(7.5) ифодасидан к? риниб турибдики, Карно циклининг фойдали иш коэффициентининг сиймати T_1 ва T_2 ларнинг ? згаришига боғлиқ экан.

Масалалар

56. Босими $P=8$ бар ва $t=250^\circ\text{C}$ б? лган 1 кг кислороднинг энтропиясини анисланг. Иссислик сиғими ? згармас деб қисобланг.

$S = C_p \ln \frac{T}{273} - R \ln \frac{P}{P_H}$ ифодадан энтропияни анислаймиз.

Икки атомли газлар учун $C_p = 29,3 \text{ кЖ/кмоль}\cdot\text{К}$
 ва $R = 8,314 \text{ кЖ/кмоль}\cdot\text{К}$ бўлгани учун, унда

$$S = \frac{29,3}{32} \ln \frac{523}{273} - \frac{8,314}{32} \ln \frac{8}{1,013}$$

$$S = 0,5978 - 0,5373 = 0,0605 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}.$$

57. 6,4 кг азот газининг $P = 5 \text{ бар}$ ва $t = 300^\circ\text{C}$ бўлгандаги энтропиясини анисланг. Иссислик сиёҳимини q эгармас деб қисобланг.

$$\text{Жавоб: } S = 1,94 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}.$$

58. 1 кг кислород $t_1 = 127^\circ\text{C}$ бўлганда қажмини 5 маротаба орттиради, шунда қарорати $t_2 = 27^\circ\text{C}$ гача камаяди.

Иссислик сиёҳимини q эгармас деб қисоблаб, энтропиянинг S эгаришини анисланг.

$$\text{Жавоб: } \Delta S = 0,2324 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{К}$$

59. Қароратлари $t_1 = 627^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 27^\circ\text{C}$ бўлган 1 кг қаво Карно циклини бажаради, бунда энг ката босим 60 бар, энг кичиги эса 1 бар га тенг.

Қар бир нустадаги параметрларни – иш, термик ФИК, келтирилган ва олиб кетилган иссисликни анисланг.

Ечиш:

1-нуста: $P_1 = 60 \text{ бар}$; $T_1 = 900 \text{ К}$; $v_1 = ?$

Қолат тенгламасидан:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 900}{60 \cdot 10^5} = 0,043 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

2-нуста: $T_1 = 900 \text{ К}$; $P_2 = ?$

2-3 адиабатик жараён учун:

$$\frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 3^{\frac{1,4}{0,4}} = 46,8$$

$$P_2 = 1 \cdot 46,8 = 46,8 \text{ бар}$$

1-2 изотермик жараён учун

$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{P_1 v_1}{P_2} = \frac{60 \cdot 0,043}{46,8} = 0,055 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

3-нуста:

$$P_3 = 1 \text{ бар}; T_3 = 300 \text{ К}; \quad v_3 = ?$$

$$v_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^5} = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$4\text{-нуста: } T_4 = 300 \text{ К}$$

4-1 адиабатик жараён учун:

$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}} = 46,8$$

$$P_4 = \frac{P_1}{46,8} = 1,284 \text{ бар}$$

3-4 изотермик жараён учун

$$P_3 v_3 = P_4 v_4$$

$$v_4 = \frac{P_3 v_3}{P_4} = \frac{1 \cdot 0,861}{1,284} = 0,671 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Циклинг ФИК:

$$\eta_i = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900 - 300}{900} = 0,667$$

Келтирилган иссислик миздори:

$$q_1 = RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 900 \ln \frac{0,055}{0,043} = 63,6 \text{ кЖ/кг}$$

Олиб кетилган иссислик миздори:

$$q_2 = RT_3 \ln \frac{v_3}{v_4} = 2,303 \cdot 0,287 \cdot 300 \ln \frac{0,861}{0,671} = 21,5 \text{ кЖ/кг}.$$

Циклнинг иши:

$$l_0 = q_1 - q_2 = 63,6 - 21,5 = 42,1 \text{ кЖ/кг.}$$

60. 1 кг азот ва 1 кг водород қарорати $t_1 = 15^\circ\text{C}$ да 0,1 МПа дан 1 МПа босимгача изотермик сисилади.

Сайси газ учун энтропия катта бўлади ва неча маротаба (бошса газнинг энтропиясининг ўзгаришига нисбатан)?

$$\text{Жавоб: } \Delta S_{H_2} / \Delta S_{N_2} = 13,9$$

61. Қарорати 100°C ва бўғланиш иссислиги $r = 2257 \text{ кЖ/кг}$ га тенг бўлгандаги 1 кг сувнинг бўғланишидаги энтропиясини анисланг.

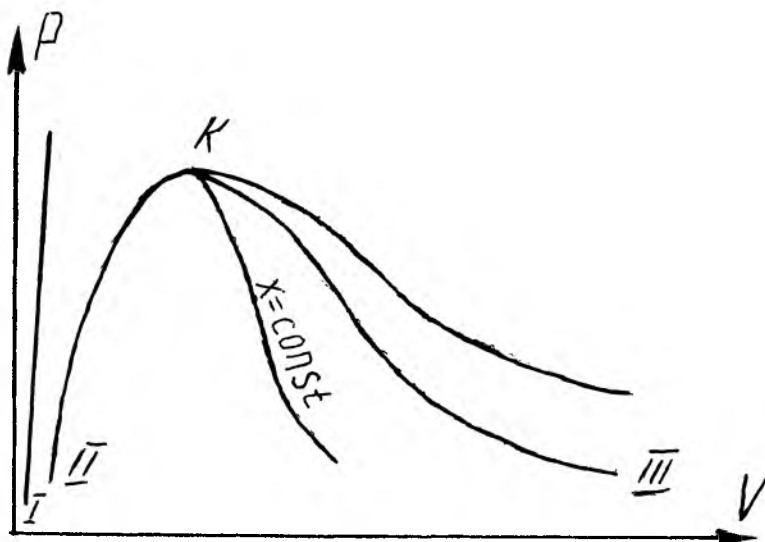
$$\text{Жавоб: } \Delta S = 6,05 \text{ кЖ/кг}\cdot\text{K}$$

VIII БОБ

СУВ БУҒИ ВА УНИНГ ХОССАЛАРИ

Бизга маълумки, иссиқлик электр станцияларида ишчи жисм бўлиб асосан сув буғи ишлатилади. Шунинг учун сув буғини тайёрлаш ва ишлатилишига талаб жуда юқоридир. Сувни қайнатиш натижасида буғ ҳосил бўлади, бу буғни биз нам тўйинган буғ деймиз, чунки у сув ва буғнинг аралашмасидир. Шундай буғни қиздириш натижасида, унинг таркибидаги намлик камайтирилади ва бу буғ қурий бошлайди, ҳарорати ва босими ортиб боради, бундай буғга яъни тўйиниш ҳарорати - t_f га эга бўлган буғга қуруқ тўйинган буғ дейилади. Агар биз шу қуруқ тўйинган буғни янада қиздирсак, унинг таркибидаги намлик йўқолади ва энди унга қанча иссиқлик келтирмайлик, у ўзининг параметрларини ўзгартирмайди, бундай буғга - ўта қизиган буғ деб аталади. Демак сув буғини тайёрлаш мураккаб жараён бўлиб ҳисобланади.

Қуйида сув буғининг P - V диаграммаси келтирилган.



7-расм. Сув буғининг P- V диаграммаси

Диаграммадаги чизиқлар қуйидагиларни:

I чизиқ – 0 °C даги суюқлик қолатини;

II чизиқ – қайнаш ҳароратидаги сув қолатини;

III чизиқ - қуруқ тўйинган буғ қолатини характерлайди.

II чизиқ –қуйи чегара чизиғи ва III чизиқ- юқори чегара чизиғи дейилади.

Бу чизиқлар диаграммани уч қолатга бўлади: I ва II чизиқлар ораси - суюқлик қолат; II ва III чизиқлар ораси- нам тўйинган буғ; III чизиқдан ўнгдаги қисм - ўта қизиган буғ.

K нуқта критик нуқта деб аталиб, бу суюқлик ва буғ қолатлари орасидаги фарқ йўқолади, шунинг учун унинг ҳарорати энг юқори қийматга эга бўлади. Сув буғи учун критик параметрлар қуйидагилардир:

$$t_{кр}=374,15\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{кр}=221,29\text{ бар}$$

$$V_{кр}=0,00326\text{ м}^3/\text{кг}$$

Ҳар бир буғ қолатини характерловчи ифодалар мавжуддир.

Нам тўйинган буғ. Нам тўйинган буғнинг қолати қуриганлик даражаси билан аниқланади, уни X деб белгиланади.

Агар $x=0$ бўлса, сув қолатини, агар $x=1$ бўлса, қуруқ тўйинган буғ қолатини ифодалайди.

Солиштирма қажми қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$V_x = V^{II} \cdot x + (1-x)V^I \quad (8.1)$$

Кўпинча:

$$V_x = V^{II} x \quad (8.2) \text{ деб ёзилади.}$$

Зичлиги:

$$\rho_x = \frac{1}{V^{II} x + (1-x)V^I} \quad (8.3)$$

Ўта қизиган буғнинг иссиқлик миқдори:

$$Q = h_2 - h_1 = h^I - h_0^I \quad 54$$

Ўта қизиган буғнинг энтальпияси:

$$h = u + pV$$

Масалалар

62. Сув буғининг h - s диаграммасидан фойдаланиб, буғнинг энтальпиясини аниқланг.

- а) $p = 1$ МПа босимдаги қуруқ тўйинган буғнинг;
- б) $p = 1$ МПа ва $x = 0,95$ бўлган нам тўйинган буғнинг;
- в) $p = 1$ МПа ва $t = 300^\circ\text{C}$ бўлган буғнинг энтальпиясини аниқланг.

Берилган:

- а) $p = 1$ МПа
- б) $p = 1$ МПа, $x = 0,95$
- в) $p = 1$ МПа, $t = 300^\circ\text{C}$

h'' -?, h_x -?, h -?

Жавоб: а) $h'' = 2780$ кЖ/кг;
 б) $h_x = 2680$ кЖ/кг; в) $h = 3045$ кЖ/кг.

63. h - s диаграммадан фойдаланиб,

- а) $p = 2,2$ МПа босимли қуруқ тўйинган буғнинг;

- б) $p=0,8$ МПа ва $x=0,96$ бўлган нам тўйинган буғнинг;
 в) $p=2,9$ МПа ва $t=400^{\circ}\text{C}$ параметрли ўта қизиган буғнинг энтальпиясини аниқланг.

Берилган:

- а) $p=2,2$ МПа
 б) $p=0,8$ МПа, $x = 96$
в) $p=2,9$ МПа, $t = 400^{\circ}\text{C}$
 h'' - ?, h_x - ?, h - ?

Жавоб: а) $h'' = 2800$ кЖ/кг;
 б) $h_x = 2687$ кЖ/кг; в) $h = 3230$ кЖ/кг.

64. Буғнинг қуйидаги ҳолати берилган. $p=2$ МПа ва $t=340^{\circ}\text{C}$ h - s диаграммасидан фойдаланиб, энтропия, қарорат ва буғнинг қиздирилиш даражасини аниқланг.

Берилган:

$p=2$ МПа, $t=340^{\circ}\text{C}$
 S - ?, t_H - ?

Ечиш:

h - s диаграммадан $p=2$ МПа босим ва $t=340^{\circ}\text{C}$ ҳароратини аниқлаб, бу чизиқларни ўзаро кесиштирамиз ва энтальпияни аниқлаймиз.

$h = 3110$ кЖ/кг

Сўнгра энтропияни аниқлаймиз.

$$S = (\text{кг} \cdot \text{К})$$

Кейин жадвал ёрдамида қиздирилиш даражасини аниқлаймиз.

$$\Delta t_{\text{сиз}} = t - t_T = 340 - 212,37 = 127,63^{\circ}\text{C}$$

Бунда t_T тўйиниш ҳарорати

$$t_T = 212,37^{\circ}\text{C}$$

65. Босими $p=0,8$ МПа ва қуриганлик даражаси $x=0,96$ бўлган сув буғининг h_x , S_x ва v_x параметрларини h - s диаграммадан фойдаланиб аниқланг. Олинган

натижаларни эса ифода ва жадвал ёрдамида олинган
натижалар билан солиштиринг.

Берилган:

$$p=0,8 \text{ МПа}, x=0,96$$

$$h_x = ?, S_x = ?, v_x = ?$$

Ечиш:

h - s диаграммасига берилган қийматларни қўйиб
қуйидаги натижаларга эга бўламиз.

$$h_x = 2687 \text{ кЖ/кг}, S_x = 6,5 \text{ кЖ/(кг·К)}, v_x = 0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$$

66. Босими $p=10 \text{ МПа}$ ва қуриганлик даражаси $x=0,98$
бўлган 1 кг нам буғни $t=480^\circ\text{C}$ гача қиздириш учун керак
бўладиган иссиқлик миқдорини аниқланг.

Берилган:

$$p=10 \text{ МПа}, x=0,98, M=1 \text{ кг}, t=480^\circ\text{C}$$

$$q_v = ?$$

Ечиш:

Бунинг учун сув буғининг h - s диаграммасидан
фойдаланамиз. $p=10 \text{ МПа}$ ва $x=0,98$ параметрли буғ
учун $h=2765 \text{ кЖ/кг}$ тўғри келади. Ҳарорат $t=480^\circ\text{C}$ гача
қиздирилганда эса $h=3430 \text{ кЖ/кг}$.

Керак бўлган иссиқлик миқдорини қуйидаги ифодадан
топилади.

$$q_v = h - h = 3430 - 2765 = 665 \text{ кЖ/кг}.$$

67. Босими $P=1,2 \text{ МПа}$ ва солиштирма ҳажми $v=0,18$
 $\text{м}^3/\text{кг}$ га тенг бўлган сув буғининг ҳолатини аниқланг.

Берилган:

$$P=1,2 \text{ МПа}$$

$$V=0,18 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Сув буғининг ҳолати-?

Жавоб: Ўта қизиган буғ.

68. Агар $P=2\text{МПа}$ ва $x=0,9$ бўлса, нам буғининг солиштирма ҳажмини топинг.

Берилган:

$P=2\text{ МПа}$

$x=0,9$

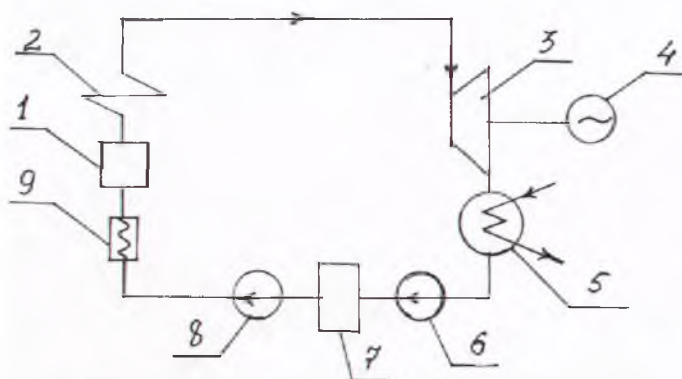
V_x -?

Жавоб: $V_x=0,089622\text{ м}^3/\text{кг}$.

IX боб

БУЪ ТУРБИНА СУРИЛМАЛАРИ

Бизга маълумки, қозирги замон иссиқлик электр станцияларида иш бажариш жараёни ишчи жисм б? лган сув буғини ишлатиш билан, унинг иссиқлик энергиясини механик энергияга айлантириш й? ли билан бирга олиб борилади. Буғни қосил силиш буғ генераторларида олиб борилади. Буғ турбина сурилмалари к? ринишининг чизма тасвири сўйидагичадир:



8-расм. Буғ турбина сурилмасининг чизма тасвири:

1-буғ созони; 2-буғ сиздиргич; 3-буғ турбинаси; 4-электр генератор; 5-конденсатор; 6-конденсат насоси; 7-бак; 8-таъминловчи насос; 9-иситгич

Кимёвий тозаланган сув ва ёсилғи буғ созонига юборилиб, у ерда ёниш жараёни амалга оширилади, шунинг қисобига буғ созоннинг сувурларидаги сув сайнай бошлайди, сув буғ аралашмаси қосил б? лади. Қосил б? лган аралашма буғ созоннинг барабанига тушиб, у ерда сув ва буғ бир-биридан ажралади. Буғ буғ сиздиргичга юборилади. У ерда буғ янада сиздирилиб, ? та сизиган буғга айлантирилади.

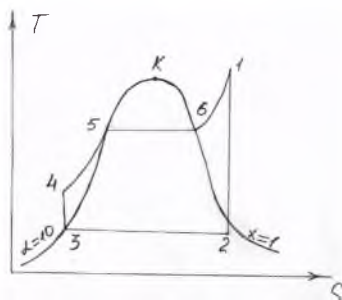
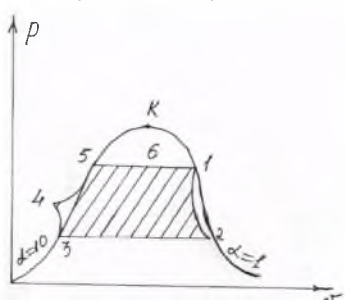
? та сизиган буғ турбинанинг паррақларига урилиб қаракат қосил силади, яъни буғнинг иссизлик энергияси аввал кинетик энергияга (турбина соплосида), с? нгра механик энергияга айланади. Ишлатилиб б? линган буғ жуда кичик босимда б? лгани учун конденсаторга келиб тушади ва сайтадан сувга айланади, бундай массани конденсат дейилади. У насос орсали бакка йиғилиб, с? нгра таъминот насос орсали иситгичга юборилиб, у ерда маълум қароратгача иситилган қолда яна буғ сезонига юборилади ва бу айланма жараён яна давом этади. Бундай цикли Ренкин цикли дейилади. Унинг ФИКи суйидагича анисланади:

$$h_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} \quad (9.1)$$

бу ерда: h_1 , h_2 - турбинадаги адиабатик кенгайиш жараёни содир б? лишидаги буғнинг бошланғич ва охири энтальпияси.

$h_2' = C_{p_k} t_2'$; - P_k босимдаги сайнаётган сувнинг энтальпияси.

Бу ифодага катталикларни сув буғининг диаграммасидан олинади. Кейинги вазифа шу циклининг ФИКни оширишдан иборат. Бунинг учун ишлатилаётган буғни иккиламчи сиздирилади, яъни турбинанинг юзори босим сисмида ишлатилган буғ оралис сиздиргичда сиздирилиб, турбинанинг паст босимли сисмига юборилади. Бундай циклининг ишлатилиши натижасида Ренкин циклининг ФИК бир неча фоизга ортади.



9-расм. Ренкин циклининг P-V ва T-S диаграммалари

Диаграммадаги чизислар суйидаги термодинамик жараёнларни ифодалайди:

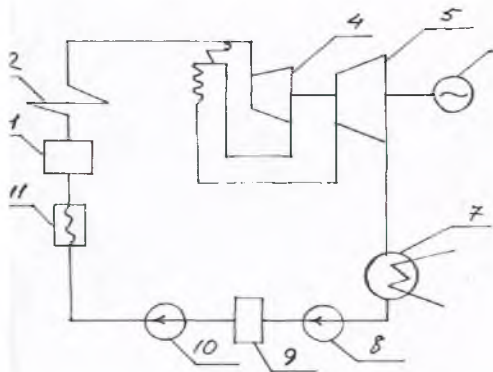
1-2 -турбинадаги адиабатик кенгайиш жараёни; 2-3 - конденсатордаги иш жараёни; 3-4 -насос иши; 4-5 - экономайзер иши; 5-6 - буғ созонида буғ қосил б? лиши; 6-1-буғнинг буғ сиздиргичда сиздирилиши.

ОРАЛИС СИЗДИРИШ

59

Ренкин циклини ФИК ни ошириш учун буғни оралис сиздиргичда сиздирилади, яъни турбинанинг юсори босимли сисмида ишлатилган буғни оралис сиздиргичда сиздирилиб, унинг қароратини ошириб, с? нгра юсори қароратли буғни турбинанинг кейинги сисмларига юборилади. Бунинг натижасида буғ турбина сурилмасининг ФИК 6-8 % ортади.

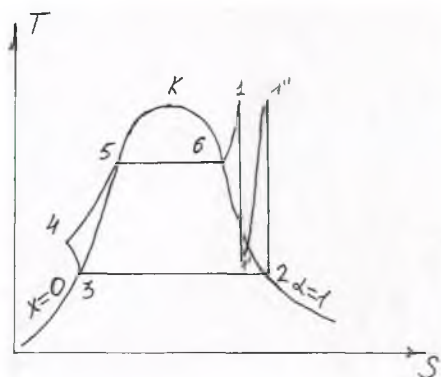
Унинг чизма тасвири суйидаги к? ринишга эга.



10-расм. Буғни оралис сиздиришнинг чизма тасвири.

1-буғ созони; 2- буғ сиздиргич; 3-оралис сиздиргич; 4- турбинанинг юсори босимли сисми; 5-турбинанинг паст босимли сисми; 6-электр генератор; 7-конденсатор; 8- конденсат насоси; 9-бак; 10- таъминловчи насос; 11- иситгич

T-S диаграммада бу циклни к? риниши суйидагича б? лади.

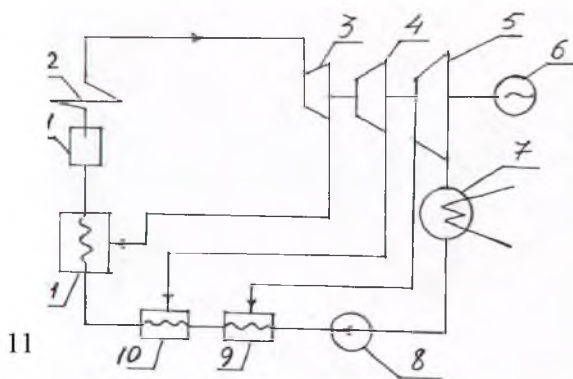


.. Оралис сиздиришнинг
-S диаграммаси

БУҒ ТУРБИНА СУРИЛМАЛАРИДА СУВНИ РЕГЕНЕРАТИВ ИСИТИШ

Сувни регенератив иситишда иситгичлар ? рнатилиб, шу иситгичларда турбинанинг юсори босимли сисмидан буғ юборилиб унинг қарорати қисобига иситгичлардаги конденсат маълум қароратгача исиб, с? нгра буғ созонига юборилади. Қосил б? лган буғ буғ сиздиргичда сизитилиб, турбинанинг юсори босимли сисмига юборилади. Буғни регенератив сиздириш, буғнинг иккиламчи иситилиши Ренкин циклининг ФИКни сезиларли даражада

оширади. Сувни регенератив иситишнинг чизма тасвири суйидаги к? ринишга эга.



12-расм. Сув регенератив иситилишининг чизма тасвири

1-буғ созони; 2-буғ сиздиргич; 3-буғ турбинасининг юсори босимли сисми; 4- буғ турбинасининг ? ртача босимли сисми; 5- буғ турбинасининг паст босимли сисми; 6- электр генератор; 7- конденсатор; 8-конденсат насоси; 9-паст босимли иситгич; 10- ? ртача босимли иситгич; 11- юсори босимли иситгич.

Масалалар

69. Турбинадан аввалги параметрлари $P_1=90$ ат, конденсатордаги босим $P_2=0,04$ ат. Агар нисбий ички ФИК. $\eta_{oi}=0,84$ бўлса, турбинада кенгайгандан кейинги буғнинг ҳолатини аниқланг.

Ечиш:

Мумкин бўлган иссиқлик тушишини аниқлаймиз.

$$H_0=h_1-h_2=329,7 \text{ ккал/кг.}$$

Ҳақиқий иссиқлик тушиши⁶¹:

$$H_i=h_0 \eta_{oi}=329,7 \cdot 0,84=276,9 \text{ ккал/кг}=1160,2 \text{ кЖ/кг.}$$

Турбинадан аввалги энтальпия:

$$H_{2x}=h_1-h_i=808,2 - 276,9=531,3 \text{ ккал/кг}=1426 \text{ кЖ/кг.}$$

70. Регенерациясиз ишлайдиган қуввати $N_0=250$ мВт, босими $P_1=235$ ата, $t=556^\circ\text{C}$, $P_2=0,35$ ата бўлган ўта қизиган буғнинг конденсацион турбинадаги соатлик сарфи ва солиштирма сарфини аниқланг. Турбинанинг ФИК $\eta_{oi}=0,85$, механик ФИК $\eta_m=0,98$, электр генераторнинг ФИК $\eta_1=0,37$.

$$\text{Жавоб: } D=17,2 \text{ кг/соат; } d=1,3 \text{ кг/кВт}\cdot\text{соат.}$$

71. Бошланғич параметрлари $P_1=90$, $t=480^\circ\text{C}$ ва охириги босими $P_2=0,04$ ат бўйича ишлайдиган буғ турбинасининг мутлас ички ФИК ни аниқланг, агар нисбий ички ФИК $\eta_{oi}=0,82$ бўлса.

$$\text{Жавоб: } \eta_o=0,344.$$

72. Буғ турбина сурилмаси Ренкин цикли бўйича суйидаги параметрлар билан ишлайди: $P_1=9$ МПа, $t_1=535^\circ\text{C}$, конденсатор-даги босим $P_2=40$ кПа. Турбина ва таъминловчи насоснинг ишини, таъминловчи насос ишлаганда ва ишламагандаги термик ФИКларини қамда уларнинг фарсларини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } l_T=1435 \text{ кЖ/кг, } l_{\text{нас}}=9,2 \text{ кЖ/кг, } \eta_T=0,426, \\ \text{насоссиз ишлаганда } \eta_T=0,428, \Delta\eta_T/\eta_T=0,4 \text{ \%}.$$

73. Бошланғич параметрлари $P_1=20$ бар, $t_1=400^\circ\text{C}$, конденсатор-даги босим $P_2=0,04$ бар бўлган сув буғи Ренкин цикли бўйича ишлайди. Шу циклнинг бажарган ишини топинг.

$$\text{Жавоб: } l_0=1161 \text{ кЖ/кг.}$$

X БОБ ИССИСЛИК МАШИНАЛАРИ

ИССИСЛИК ДВИГАТЕЛЛАРИ НАЗАРИЙ ЦИКЛАРИНИНГ ТЕРМОДИНАМИК ТАҚЛИЛИ

Механик энергия ишлаб чиқаришнинг асосини ташкил этувчи, иссиқликнинг ишга айланиши билан боғлиқ бўлган жараёнлар, техникада жуда муқим аҳамиятга эгадир ва бу масалада шўқланиладиган машиналар иссиқлик двигателлари деб аталади.

Иссиқлик двигателларида содир бўладиган жараёнларни тадқиқ қилишнинг илмий асоси эса техник термодинамикадир.

Термодинамика фанининг асосчиси, француз муқандис-физиги Сади Карно 1824 йилда нашр қилинган «Оловнинг қаракатлантирувчи кучи ва бу кучни юзага келтирувчи машиналар» деган асарида иссиқликнинг ишга айланиш шартларини ўрганиб, ички ёнув двигателларини яратиш мумкинлигини башорат қилади.

Цилиндр ичидаги поршень остида ёшилғининг бевосита ёниши қисобига иссиқлик двигателларида ишлайдиган, ёнишнинг газсимон мақсулоти ишлатилади. Реал двигателларда, Карно циклини амалга ошириш мумкин эмаслигини таъкидлаш лозим ва шунга қўра, реал двигателларнинг ФИК (η_p) Карно циклининг ФИК (η_K) дан кичик бўлади. Идеал циклдаги изотермалар ва адиабаталар сияклилари орасидаги озгина фарқ кескин чўзилган диаграмма циклини

вужудга келтиради. Шунинг учун сайд силиш керакки, реал шароитларда ишчи жисмга изотермик равишда иссиqliк киритиш ва иссиqliк чисаришга жуда катта сийинчиликлар туфайли эришиш мумкин. Шунинг учун қам, ички ёнув двигателарида изобарик ва изохорик иссиqliк келтириш ва иссиqliк олиб кетиш жараёнлари с? лланилади. Бу эса ? з навбатиди зарур (керакли) босимни кескин камайтиради, двигатель конструкциясини соддалаштиради, қамда ишсалиниш туфайли й? сотилишликларни камайтиради ва натижада двигателнинг содда, компактли ва истисодийлигига эришилади.

Одатда, термодинамикада у ёки бу двигателнинг самарадорлиги к? рилаётганда, бу двигателларда содир б? лаётган жараёнларни сайтар жараён деб циклини ёпис цикл деб қисоблайдилар, яъни двигателнинг сандайдир ⁶³ идеаллаштирилган циклини сарайдилар.

Қозирги вастда замонавий ички ёнув двигателларида, иссиqliк келтирадиган (берадиган) цикллarning суйидаги уч туридан фойдаланилади: ? згармас қажмда ($V = const$) иссиqliк келтирувчи, немис мухандис физиги Н.Отто тамонидан 1876 йилда кашф силинган цикл; ? згармас босимда $P = const$ иссиqliк келтирувчи Р.Дизель тамонидан кашф силинган цикл; сисман ? згармас қажмда, сисман ? згармас босимда иссиqliк келтирувчи 1904 йилда рус олими Г.В.Тринклер тамонидан кашф силинган цикл. Шунинг учун сайд силиш керакки, барча цикллarda иссиqliк олиб кетилиши, фасат изохор жараёнида амалга оширилади. Циклнинг характеристикалари:

$$a) \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad (10.1)$$

ε - сисилиш даражаси, газ бошланғич қажми V_1 ни сисилиш жараёни охиридаги қажм V_2 - га нисбати:

$$\text{б) } \lambda = \frac{P_3}{P_2} \quad (10.2)$$

λ - иссилик киритилишдаги босим ошиш даражаси, яъни φ згармас босимда иссилик келтирилиши жараёни охирида ва бошидаги газ босимлар нисбати;

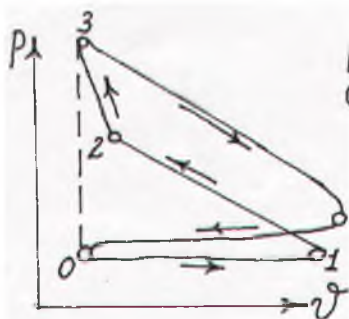
$$\text{в) } \rho = \frac{V_3}{V_2} \quad (10.3)$$

ρ - иссилик келтирилишидаги дастлабки кенгайиш даражаси, яъни аралаш циклда иссилик келтириш жараёни охиридаги газ қажмининг бошланғич қолдаги газ қажмига нисбати.

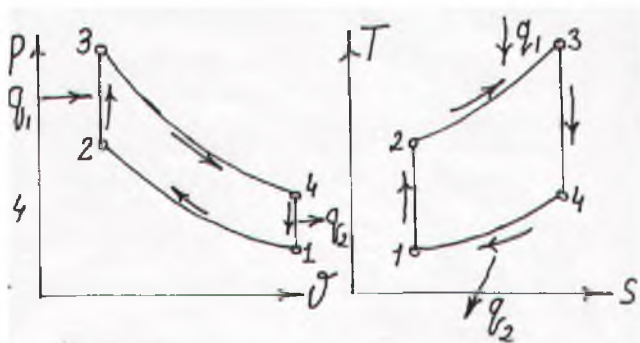
ҚАЖМ ҶЗГАРМАС БЎЛГАНДА ИССИЛИК КЕЛТИРУВЧИ ЦИКЛ

Реал поршенли двигателларнинг ишини текширишда цилиндр ичидаги поршень қолатининг φ згаришини қўрсатувчи диаграммадан фойдаланилади. Бу диаграммани индикатор деб аталувчи асбоб ёрдамида олингани учун уни индикатор диаграмма деб аталади. 13-расмда φ згармас қажмда ёсилғининг тез ёниб бўлувчи цикли қўрсатилган.

Қажм φ згармаганда иссилик келтирувчи двигателнинг идеал циклини диаграмма қўриниши суйидагича бўлади.



13-рasm. $V=\text{const}$ б? лганида иссислик келтирувчи ИЁДнинг индикатор диаграммаси



14-рasm. $V=\text{const}$ б? лганида иссислик келтирувчи циклниң P-V диаграммаси

15-рasm. $V=\text{const}$ б? лганида иссислик келтирувчи циклниң T-S диаграммаси

Бу цикл иккита изохора ва иккита адиабатадан ташкил топган б? либ, идеал газ бошланғич параметрлари P_1 , V_1 ва T_1 билан 1-2 чизис орсали адиабатик 2 нустагача сисилади. С? нгра 2-3 чизис орсали ишчи жисмга иссислик q_1 келтирилади. 3 нустадан бошлаб 3-4 чизиги б? йлаб ишчи жисм кенгаяди, с? нгра 4-1 изохора орсали q_2 иссислик олиб кетилади.

Бу циклниңг характеристикаси б? либ, сисилиш
коэффициенти $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ ва босимни ошириш даражаси

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2} \text{ кiсoблaнaди.}$$

Шу циклниңг фойдали иш коэффициентини
анислаймиз.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \quad (10.4)$$

бу ерда: q_1 - келтирилган иссилик миздори;

q_2 - олиб кетилган иссилик миздори.

Келтирилган иссилик миздори:

$$q_1 = C_v (T_3 - T_2) \quad (10.5)$$

Олиб кетилган иссилик миздори эса

$$q_2 = C_v (T_4 - T_1) \quad (10.6)$$

Термик ФИК

$$\eta_t = 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (10.7)$$

(10.7) тенгламадаги T_2 , T_3 , T_4 қароратларни анислаймиз.

1-2 адиабатик жараён б? лгани учун:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \quad (10.8)$$

бундан:

66

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1}. \quad (10.9)$$

2-3 изохорик жараён б? лгани учун:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda . \quad (10.10)$$

бундан:

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda . \quad (10.11)$$

3-4 адиабатик жараён б? лгани учун:

$$\frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} , \quad (10.12)$$

бундан:

$$T_4 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} = T_1 \cdot \lambda \quad (10.13)$$

Камма топилган сийматларни ФИК ифодасига s? йиш билан суйидагини косил силамиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \cdot \lambda - T_1}{T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda - T_1 \varepsilon^{\kappa-1}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} , \quad (10.14)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \quad (10.15)$$

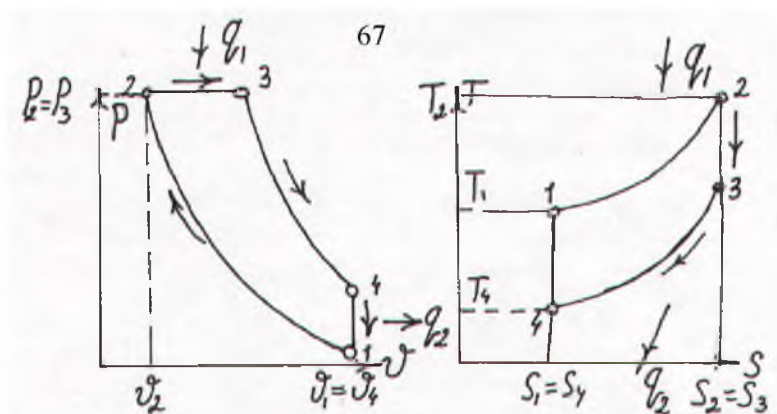
БОСИМ ЎЗГАРМАС Б? ЛГАНДА ИССИСЛИК КЕЛТИРУВЧИ ЦИКЛ

Аввалги к? ribs чисилган циклниг ФИКдан к? риниб турибдики, уни ошириш учун сисилиш даражасини оширишимиз зарур б? лади, бу эса ёнувчи массаниг ? з-? зидан ёниш карорати билан

чекланади. Қозирги қўрадиган циклимиз шу чекланишни йўсоти, бу эса ёшилҳи билан қавони алоқида сисилиши орсали амалга оширилади. Қаво двигателнинг цилиндрида сисилади, ёшилҳи эса ёшилҳи насосида сисилади. Бундай цикли немис муқандиси Дизель ихтиро силган. Бундай циклнинг P-V ва T-S диаграммалари 16 ва 17-расмларда қўрсатилган.

Бундай циклнинг ФИК

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (10.16)$$



16-расм. $P = \text{const}$ бўлганда иссиqliк келтирувчи циклнинг P-V диаграммаси

17-расм. $P = \text{const}$ бўлганда иссиqliк келтирувчи циклнинг T-S диаграммаси

Келтирилган иссиqliк миқдори:

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2) \quad (10.17)$$

Олиб кетилган иссиqliк миқдори эса

$$q_2 = C_V (T_4 - T_1) \quad (10.18)$$

Олинган сийматларнинг ФИК ифодасига с? йиш натижасида:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{C_V (T_4 - T_1)}{C_P (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1(T_4 - T_1)}{\kappa(T_3 - T_2)} \quad (10.19)$$

T_2, T_3, T_4 қароратларни T_1 орсали ифодалаймиз.
1-2 адиабата орсали:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\kappa = \varepsilon^{\kappa-1}.$$

бундан:

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1}. \quad (10.20)$$

2-3 изобара орсали:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho.$$

бундан:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \rho. \quad (10.21)$$

3-4 адиабата орсали:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1},$$

бундан:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{\kappa-1} = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \rho \cdot \frac{\rho^{\kappa-1}}{\varepsilon^{\kappa-1}} = T_1 \cdot \rho^\kappa \quad (10.22)$$

Шу сийматларни ФИК ифодасига с? йиш билан суйидагини қосил силамиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{\kappa(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cdot \rho^\kappa - 1}{\kappa(T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \rho - T_1 \varepsilon^{\kappa-1})} = 1 - \frac{\rho^\kappa - 1}{\kappa \cdot \varepsilon^{\kappa-1} (\rho - 1)} \quad (10.23)$$

Охирги ифодадан кўриниб турибдики, ФИК ортиши сисилиш даражаси ва адиабата кўрсаткичларига боғлиқ экан.

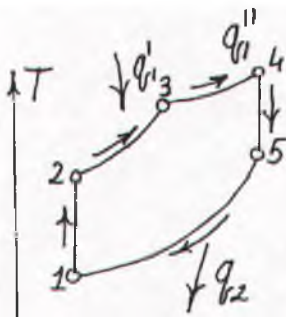
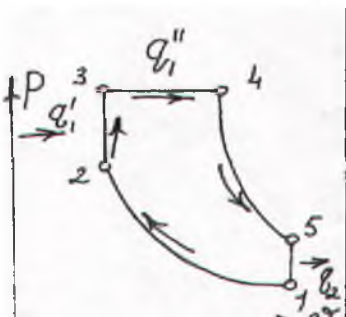
Бундай цикл билан компрессорли двигателлар ишлайди ва сисилган қавонинг юзори босими туфайли форсунка орқали ёшилғининг пуркалиши натижасида ёшилғининг ёниш жараёни амалга оширилади.

АРАЛАШГАН ҚОЛДА ИССИСЛИК КЕЛТИРУВЧИ ЦИКЛ

$V = \text{const}$ ва $P = \text{const}$ бўлгандаги циклнинг афзаллиги шундаки, компрессорсиз ишлайдиган цикл бўлиб, суёқ ёшилғи ёшилғи насосидан ёшилғи форсункаси орқали цилиндрнинг бош қисмига кичик томчи шаклида юборилади. Бу томчилар сисилган қавога тушиши билан аввал қажм қозғалганда, сўнгра босим қозғалганда ёнади. Бундай жараёнлар 18 ва 19-расмларда кўрсатилган.

Ишчи жисм P_1 , V_1 , T_1 параметрлар билан адиабатик 1-2 қизиб сисилади. Изохора 2-3 орқали ишчи жисмга q_1' - изохорик, q_1'' - изобара 3-4 орқали иссиқлик келтирилади. Сўнгра ишчи жисм 4-5 адиабата қизиб орқали кенгаяди ва 5-1 изохора қизиб орқали q_2 иссиқлик олиб кетилади. Шу циклнинг фойдали иш коэффициентини аниқлаймиз.

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1 + q_1''} \quad (10.24)$$



18-расм. Аралашган қолда иссиқлик келтирувчи циклнинг P-V диаграммаси

19-расм. Аралашган қолда иссиқлик келтирувчи циклнинг T-S диаграммаси

Келтирилган иссиқлик мисдори:

$$q_1' = C_p (T_3 - T_2) \quad (10.25)$$

Олиб кетилган иссиқлик мисдори эса

$$q_1'' = C_v (T_4 - T_3) \quad (10.26)$$

$$q_2 = C_v (T_5 - T_1) \quad (10.27)$$

Олинган сийматларнинг ФИК ифодасига с? йиш натижасида:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1' + q_1''} = 1 - \frac{C_v (T_5 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2) + C_p (T_4 - T_3)} \quad (10.28)$$

T_2, T_3, T_4, T_5 қароратларни T_1 орсали ифодалаймиз.

1-2 адиабата орсали:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = \epsilon^{\kappa-1} .$$

бундан:

$$T_2 = T_1 \epsilon^{\kappa-1} . \quad (10.29)$$

2-3 изохора орсали:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \lambda .$$

бундан:

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda \quad \text{ва} \quad T_4 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda. \quad (10.30)$$

3-4 изобара орсали:

$$\frac{T_4}{T_3} = \frac{V_4}{V_3},$$

бундан:

$$T_4 = T_3 \cdot \rho \quad \text{ва} \quad T_4 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \cdot \rho \quad (10.31)$$

4-5 адиабата орсали:

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_5}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{V_4}{V_1}\right)^{\kappa-1} \cdot \rho; \quad \varepsilon = \frac{V_4}{V_3}; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_1} \quad (10.32)$$

5-1 изохора орсали:

$$\frac{T_5}{T_1} = \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\kappa-1}$$

$$T_5 = T_1 \varepsilon^{\kappa-1} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{\rho^{\kappa-1}}{\varepsilon} \quad T_5 = T_1 \cdot \lambda \cdot \rho^{\kappa} \quad (10.33)$$

Шу сийматларни ФИК ифодасига сўйиш билан сўйидагини қосил силамиз.

$$\eta_{it} = 1 - \frac{\lambda \rho^{\kappa} - 1}{\varepsilon^{\kappa-1} [(\lambda - 1) + \kappa \lambda (\rho - 1)]}, \quad (10.34)$$

Охирги ифодадан қўлиниб турибдики, циклининг ФИК κ , ε , λ , ρ нинг ? згариши билан ? згаради.

Масалалар

74. Поршенли ички ёнув двигатели $V = \text{const}$ да ёсилғини ёниш цикли б? йича ишлайди. Шу цикли қар бир

нустасидаги параметрларини, олинган ишни, келтирилган ва олиб кетилган иссиқликни термик ФИКни аниқлаш, агар $P_1=1$ бар, $t_1=20^\circ\text{C}$, $\varepsilon=3,6$; $\lambda=3,33$; $\kappa=1,4$ бўлса. Ишчи жисм — қаво. Иссиқлик сиёҳимини қанчалик деб қисқаблансин.

Ечиш: Қисқаблашни 1 кг қаво учун олиб борамиз:

1-нуста:

$$P_1=1 \text{ бар}, t_1=20^\circ\text{C}$$

Қолат тенгламасидан $P_1 V_1 = RT_1$

$$V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 293}{1 \cdot 10^5} = 0,84 \text{ м}^3/\text{кг}$$

2-нуста:

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 3,6 \qquad V_2 = \frac{V_1}{\varepsilon} = \frac{0,84}{3,6} = 0,233 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Адиабатик сиёилишдаги қарорат

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} = 293 \cdot 3,6^{0,4} = 489 \text{ К}$$

$$t_2=216^\circ\text{C}$$

$$P_2 = \frac{RT_2}{V_2} = \frac{287 \cdot 489}{0,233} = 6,02 \text{ бар}$$

3-нуста:

$$V_3=V_2=0,233 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Изохор жараёнда параметрлар орасидаги боғланишга асосланиб,

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \lambda = 3,33$$

$$P_3=P_2\lambda=6,02 \cdot 3,33=20 \text{ бар}.$$

$$T_3=T_2\lambda=489 \cdot 3,33=1628 \text{ К}, t_3=1355^\circ\text{C}$$

4-нуста:

$$V_4=V_1=0,84 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{k-1} = 1628 \frac{1}{3,6^{0,4}} = 976 \text{ K}$$

$$P_4 = P_1 \frac{T_4}{T_1} = 1 \frac{976}{293} = 3,33 \text{ бар}$$

$$q_1 = C_v(T_3 - T_2) = (20,93/28,96)(1628 - 489) = 825 \text{ кЖ/кг}$$

$$q_2 = C_v(T_4 - T_1) = (20,93/28,96)(976 - 293) = 495 \text{ кЖ/кг}$$

Термик ФИК

$$\eta_i = (825 - 495) / 825 = 0,4 = 40\%$$

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 1 - \frac{1}{3,6^{0,4}} = 0,4 = 40\%$$

Цикл иши:

$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 330 \text{ кЖ/кг.}$$

75. $V = \text{const}$ да исчислик келтирадиган поршенли ички ёнув двигателининг сисилиш даражаси $\varepsilon = 5$, босимни ошириш даражаси $\lambda = 1,5$. Ишчи жисм - қаво. Исчислик сиғимини ? згармас деб қисобланг, шу циклнинг ФИКни анисланг.

$$\text{Жавоб: } \eta_i = 0,476.$$

76. $P = \text{const}$ бўлганда исчислик келтирувчи цикл билан ишлайдиган циклнинг характерли нусталардаги параметрларини, фойдали ишни, термик ФИКни, келтирилган ва олиб кетилган исчисликни анисланг, агар $P_1 = 1$ бар, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 12,7$, $k = 1,4$ бўлса. Ишчи жисм - қаво. Исчислик сиғимини ? згармас деб қисобланг.

$$\text{Жавоб: } v_1 = 0,84 \text{ м}^3/\text{кг}; P_2 = 35,1 \text{ бар}; v_2 = 0,0661 \text{ м}^3/\text{кг}; t_2 = 536^\circ\text{C};$$

$$T_3 = 1345 \text{ K}; P_3 = 35,1 \text{ бар}; P_4 = 2,64 \text{ м}^3/\text{кг}; t_4 = 500^\circ\text{C};$$

$$q_1 = 818 \text{ кЖ/кг};$$

$$q_2 = 347 \text{ кЖ/кг};$$

$$\ell_0 = 471 \text{ кЖ/кг}$$

$$\eta_i = 57,6\%$$

77. $V = \text{const}$ бўлган ички ёнув двигателининг цикли берилган. Кавонинг бошланғич қолатидаги параметрлари $P_1 = 0,8$ ат, $t_3 = 17^\circ\text{C}$. Сисилиш даражаси $\varepsilon = 4,6$. Келтирилган иссиқлик $1005,6$ кЖ/кг ни ташкил силади. Агар цилиндрни $d = 240$ мм, поршенни силжиши $S = 340$ мм ва икки маротаба айланишдаги айланиш сони минутига $n = 200$ бўлса, термик ФИК ва сувватни топинг.

$$\text{Жавоб: } \eta_i = 0,457, N = 14,5 \text{ кВт.}$$

78. Аралашган қолда иссиқлик келтирувчи ички ёнув двигателининг цикли берилган. Ишчи жисм – каво. Унинг бошланғич параметрлари $P_1 = 0,1$ ат, $t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 4,6$, $\lambda = 2,0$, $\rho = 1,2$.

Циклнинг қар бир нустасидаги параметрлар келтирилган иссиқлик, иш, термик ФИК анислансин, бунда иссиқлик сиғими ўзгармас деб қисоблансин.

$$\text{Жавоб: } v_1 = 0,87 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad v_2 = 0,124 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad v_4 = 0,149 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$P_2 = 1,52 \text{ МПа}; \quad P_3 = 3,05 \text{ МПа}; \quad P_5 = 0,26$$

МПа;

$$t_3 = 1047^\circ\text{C}; \quad t_4 = 1311^\circ\text{C}; \quad t_5 = 511^\circ\text{C};$$

$$q_1 = 744,2 \text{ кЖ/кг}; \quad \eta_i = 0,532; \quad \ell_0 = 396 \text{ кЖ/кг.}$$

79. $P = \text{const}$ бўлганда иссиқлик келтирувчи цикл берилган. Ишчи жисм – каво, унинг параметрлари $P_1 = 100$ кПа, $\varepsilon = 14$, $\rho = 1,5$, $\kappa = 1,4$. Цилиндрнинг диаметри $d = 0,3$ м, поршеннинг силжиши $S = 0,45$ м.

Циклнинг қар бир нустасидаги параметрлар ва ФИКни анисланг. Иссислик сиғимини ? згармас деб қисобланг.

Жавоб: $V_1 = V_4 = 0,0341 \text{ м}^3$; $V_2 = 0,00244 \text{ м}^3$;
 $V_3 = 0,00366 \text{ м}^3$;
 $P_2 = 4,02 \text{ МПа}$; $P_4 = 0,176 \text{ МПа}$; $\eta_i = 0,65$.

XI БОБ ГАЗ ТУРБИНА СУРИЛМАЛАРИНИНГ ЦИКЛАРИ

ГАЗ ТУРБИНА СУРИЛМАЛАРИ (ГТС)

Поршенли ички ёнув двигателларининг асосий камчилиги сувватининг чекланганлиги, ишчи жисмнинг адиабатик кенгайишини атмосфера босимига олиб бориб бўлмаслигидир. Бундай камчилик газ турбина сурилмаларида бўлмайди. Уларда ишчи жисм сифатида суюқ ёки газ ёнилғиларни ёнишидан қосил бўлган мақсулотлари ишлатилади. Ишчи жисм юзори қарорат ва босим билан ёниш камерасидан соплога юборилади ва катта тезлик билан турбинанинг парракларига урилади, унинг кинетик энергияси механик энергия олиш учун ишлатилади.

ГТС нинг ички ёнув двигателларига сараганда анча сулайлик томонлари бор: кам металл сарфланиши,

оғирлигининг камлиги, сувватининг к? плиги, юсори айланишлар сонига эга.

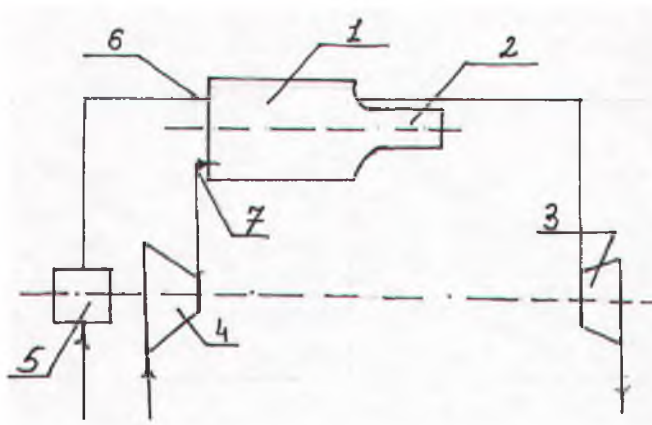
Лекин уларни суришда к? п масалаларни ечишга т? ҳри келади. Энг аввал турбинага келаётган газнинг қароратини ошириш зарур, бу эса ГТС сининг ФИКни оширади.

БОСИМ ЎЗГАРМАС ЖАРАЁНДАГИ ИССИСЛИК КЕЛТИРУВЧИ ГАЗ ТУРБИНА СУРИЛМАСИНИНГ ЦИКЛИ

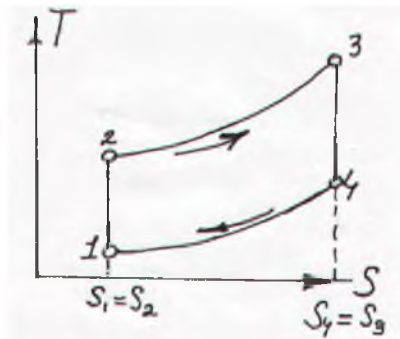
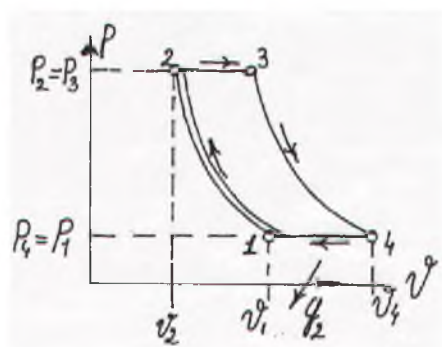
$P = \text{const}$ б? лганда ёсилҳининг ёнишига эга б? лган циклининг чизма тасвири 20-расмда к? рсатилган.

Компрессор (4)да сисилган қаво форсунка (7) орсали ва ёсилҳи насос (5)дан форсунка (6) орсали ёниш камераси (1) га келиб тушади. Бу ерда ёниш жараёни амалга ошади ва ёниш мақсулотлари соплога тушиб, бу ерда ишчи жисм атмосфера босимига ясин б? лган босимгача кенгаяди. С? нгра соплодан газ турбинаси (3)нинг ишчи паррақларига келиб урилиб, атмосферага чисиб кетади. Шундай циклининг P - V , T - S диаграммаси 21 ва 22-расмларда к? рсатилган.

Ишчи жисм P_1 , V_1 , T_1 параметрлар билан адиабатик равишда 1-2 чисилди. С? нгра ишчи жисм иссислик келтирилди, бу изобара чизиҳи 2-3 орсали амалга оширилди. С? нгра ишчи жисм турбинада адиабатик кенгаяди (3-4 чизиҳи), с? нгра ишчи жисм аввалги бошланҳич қолатўғига сайтади (4-1 чизиҳи). Бу циклининг характеристикаси б? либ, босимни ошириш даражаси $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ ва изобар кенгайиш даражаси $\rho = \frac{V_3}{V_2}$ қисобланади.



20-расм. $P=\text{const}$ б? лгандаги иссиqliк келтирyвчи ГТС
цикли
1-ёниш камераси; 2- сопло; 3-газ турбиначи; 4-
турбокомпрессор, 5- ёшилђи баки; 6,7 - форсyнка



21-расм. $P=\text{const}$ ГТС $P-V$ диаграммачи
22-расм. $P=\text{const}$ ГТС $T-S$ диаграммачи

Циклинг ФИКни кйсоблаймиз:

$$\eta_{\text{т}}^{\text{ГТК}} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \quad (11.1)$$

Келтирилган исчислик мисдори:

$$q_1 = C_p (T_3 - T_2) \quad (11.2)$$

Олиб кетилган исчислик мисдори эса

$$q_2 = C_p (T_4 - T_1) \quad (11.3)$$

T_2, T_3, T_4 , қароратларни T_1 орсали ифодалаймиз.

1-2 адиабата орсали:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}.$$

бундан:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (11.4)$$

2-3 изобара орсали:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \rho.$$

бундан:

$$T_3 = T_2 \cdot \rho \quad \text{ва} \quad T_3 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho \quad (11.5)$$

3-4 адиабата орсали:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_1 \beta} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}},$$

бундан:

$$T_4 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \rho \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = T_1 \cdot \rho \quad (11.6)$$

Шу сийматларни ФИК ифодасига s ? йиш билан суйидагини қосил силамиз.

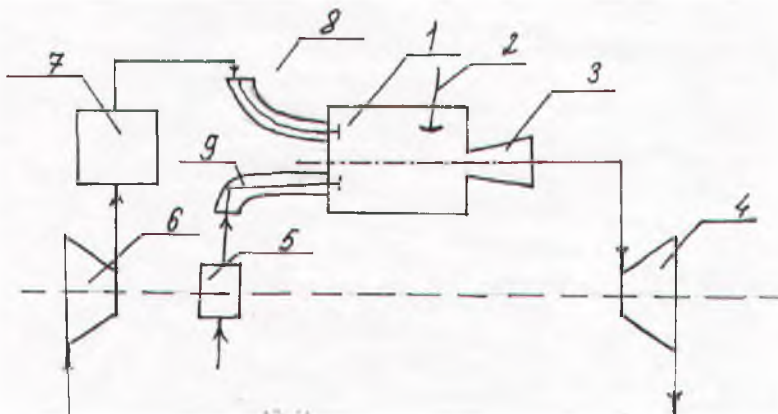
$$\eta_t = 1 - \frac{T_1 \rho - T_1}{T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \rho - T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} = 1 - \frac{\rho - 1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} (\rho - 1)}, \quad (11.7)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \quad 77$$

Бу ифодадан қ? риниб турибдики, ФИК босимни ошириш даражасига ва адиабата қ? рсаткичига боғлиқ экан.

ҚАЖМ ЎЗГАРМАС ЖАРАЁНИДАГИ ИССИСЛИК КЕЛТИРУВЧИ ГАЗ ТУРБИНА СУРИЛМАСИНИНГ ЦИКЛИ

Бу циклниң чизма тасвири 23-расмда келтирилган.



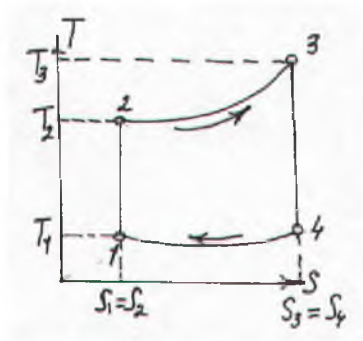
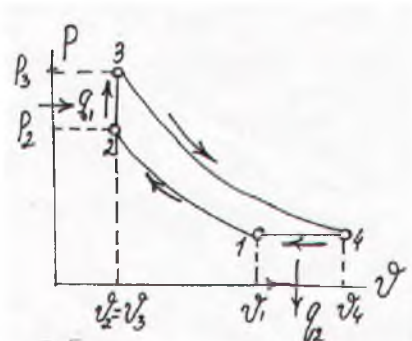
23-расм. $V=\text{const}$ ГТС сининг чизма тасвири

Компрессорда сисилган қаво рессивер орсали қаво клапанидан ёниш камерасига келиб тушади. У

ерга ёшилђи насосидан ёшилђи тушиб, ёниш жараёни б? лади, с? нгра ёнишда косил б? лган мақсулотлар газ турбинасига тушиб, ишлатилиб б? линган газлар ташсарига чисариб юборилади. Бундай циклнинг P-V ва T-S диаграммасини суйидаги чизмада к? рамиз.

Бу циклнинг характеристикалари б? либ босимни ошириш даражаси $\beta = \frac{P_2}{P_1}$ ва s? шимча босимни

ошириш даражаси $\lambda = \frac{P_3}{P_2}$ кйисобланади.



24-расм. $V=\text{const}$ б? лганда иссислик келтирувчи циклнинг P-V диаграммаси

25-расм. $V=\text{const}$ б? лганда иссислик келтирувчи циклнинг T-S диаграммаси

Келтирилган иссислик мисдори:

$$q_1 = C_V (T_3 - T_2) \quad (11.8)$$

Олиб кетилган иссислик мисдори эса

$$q_2 = C_p (T_4 - T_1) \quad (11.9)$$

q_1 ва q_2 нинг сийматларини ФИК анишлаш ифодасига $s?$ йиб, суйидагиларни олаимиз:

$$\eta_1 = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\kappa(T_4 - T_1)}{T_3 - T_2} \quad (11.10)$$

T_2 , T_3 , T_4 қароратларни T_1 орсали ифодалаймиз.

1-2 адиабата орсали:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}.$$

бундан:

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (11.11)$$

2-3 изохора орсали:

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \lambda.$$

бундан:

79

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda \text{ ва } T_2 = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \cdot \lambda \quad (11.12)$$

3-4 адиабата орсали:

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \left(\frac{P_1}{P_1 \beta \lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = \frac{1}{\beta \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}, \quad (11.13)$$

бундан:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{1}{\beta \lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \lambda \left(\frac{1}{\beta \lambda}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \text{ ва}$$

$$T_4 = T_1 \lambda^{\frac{1}{\kappa}} \quad (11.14)$$

Шу сийматларни ФИК ифодасига $s?$ йиш билан суйидагини қосил силамиз.

$$\eta_t = 1 - \frac{\kappa(\lambda^{\frac{1}{\kappa}} - 1)}{\beta^{\frac{1}{\kappa}} (\lambda - 1)}, \quad (11.15)$$

(11.15) ифодадан κ риниб турибдики, циклниң ФИК κ , β , λ катталиқларниң ортиши билан ортади.

Масалалар

80. Босим P згармас б ϕ лгандаги газ турбина сурилмасиниң ($P = \text{const}$) циклини κ ар бир нустасидаги параметрларини, фойдали ишини, келтирилган ва олиб кетилган иссиқлиқни, ФИКни аниқланг, агар $P_1 = 1$ бар, $t_1 = 27^\circ\text{C}$, $t_2 = 700^\circ\text{C}$, $\lambda = P_2/P_1 = 10$; $\kappa = 1,4$ берилган б ϕ лса. Ишчи жисм – κ аво. Иссиқлик си ϕ јимини P згармас деб κ исобланг.

Ечиш:

$$1\text{-нуста: } V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$2\text{-нуста: } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}; \quad T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

$$T_2 = 300 \cdot 10^{0,4/1,4} = 300 \cdot 1,93 = 579 \text{ К}$$

$$t_2 = 306^\circ\text{C}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \lambda \quad P_2 = P_1 \lambda = 1 \cdot 10 = 10 \text{ бар}$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \quad V_2 = \frac{RT_2}{P_2} = \frac{287 \cdot 579}{10 \cdot 10^5} = 0,166 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$3\text{-нуста: } T_3 = 700 + 273 = 973 \text{ К}$$

$$P_3 = P_2 = 10 \text{ бар}$$

$$V_3 = V_2 \frac{T_3}{T_2} = 0,166 \frac{973}{579} = 0,279 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$4\text{-нуста: } \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_1}{T_4} \cdot \frac{973}{579} = \frac{579}{300}$$

$$T_4 = \frac{973 \cdot 300}{579} = 504 \text{ К}$$

$$t_4 = 229^\circ\text{C} \quad P_4 = P_1 = 1 \text{ бар}$$

$$\frac{V_4}{V_1} = \frac{T_4}{T_1}; \quad V_4 = V_1 \frac{T_4}{T_1} = 0,861 \cdot \frac{504}{300} = 1,45 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Иссислик мисдори:

$$q_1 = q_{2-3} = C_p (T_3 - T_2) = (29,31/28,96)(973 - 579) = 399 \text{ кЖ/кг}$$

$$q_2 = q_{4-1} = C_p (T_4 - T_1) = (29,31/28,96)(500 - 300) = 202 \text{ кЖ/кг}$$

Циклинг иши:

$$\ell_0 = q_1 - q_2 = 399 - 202 = 197 \text{ кЖ/кг}$$

Циклинг термик ФИК:

$$\eta_i = 1 - q_2/q_1 = 1 - (202/399) = 0,494$$

81

81. Газ турбинаси $P = \text{const}$ б? лганда иссислик келтириш б? йича ишлайди. Бунда суйидаги параметрлар анис: $P_1 = 1$ бар, $t_1 = 40^\circ\text{C}$, $t_4 = 400^\circ\text{C}$, яна босимни ошириш даражаси $\lambda = 8$; Ишчи жисм-ќаво. Характерли нусталардаги параметрлар, келтирилган ва олиб кетилган иссислик, циклинг бажарилишидаги иш ва термик ФИКни анисланг. Иссислик сиђимини ? згармас деб ќисобланг.

$$V_2 = 0,204 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad t_2 = 297^\circ\text{C}$$

$$V_3 = 0,438 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad t_3 = 948^\circ\text{C};$$

$$V_4 = 1,93 \text{ м}^3/\text{кг}; \quad q_1 = 659 \text{ кЖ/кг}$$

$$q_2=364 \text{ кЖ/кг}; \ell_0=296 \text{ кЖ/кг}$$

$$\eta_t=0,45$$

$$\text{Жавоб: } V_1=0,9 \text{ м}^3/\text{кг}; P_2=8 \text{ бар}$$

82. Газ турбина сурилмаси $P=\text{const}$ цикли б? йича ишлайди. Суйидаги параметрлар берилган: $t_1=30^\circ\text{C}$, $t_4=400^\circ\text{C}$, $\lambda=P_2/P_1=4$. Ишчи жисм—каво. Шу циклнинг термик ФИКни анисланг.

$$\text{Жавоб: } \eta_t=0,585.$$

83. $P=\text{const}$ иссислик келтирувчи ГТСнинг ФИКни анисланг, бунда унинг босимини ошириш даражаси 1) $\beta_1=5$; 2) $\beta_2=10$; 3) $\beta_3=20$ га тенг. Ишчи жисмни кавонинг хоссаларига эга бўлган жисм деб кисобланг. Адиабата кўрсаткичи $k=1,4$.

$$\text{Жавоб: } \eta_{t1}=0,369; \eta_{t2}=0,482; \eta_{t3}=0,575.$$

84. Газ турбинаси $P=\text{const}$ б? лганда иссислик келтирувчи цикл билан ишлайди, босимни ошириш даражаси $\beta=12$.

Иккита қолат учун шу циклнинг ФИКни анисланг:

1) ишчи жисм — каво; 2) ишчи жисм — гелий.

$$\text{Жавоб: } \eta_t=0,508; \eta_i=0,630.$$

85. Газ турбина сурилмасининг буғ турбинасига параметрлари $P_3=1,0 \text{ МПа}$, $t_1=700^\circ\text{C}$ бўлган гелий киради. Турбинанинг ички нисбий ФИК 0,86, турбинадан кейинги босим $P_4=0,1 \text{ МПа}$ га тенг. Агар турбинанинг касисий суввати $N_t=40 \text{ МВт}$ бўлса, соатига сарфланган иссислик ва гелийнинг турбинадан чишишдаги қароратини анисланг.

Жауап: $t=196\text{ }^{\circ}\text{C}$; $m_T=55,1\cdot 10^3\text{ кг/с}$.

ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК

Жисм микро заррачаларининг тартибсиз ҳаракати орқали иссиқликнинг узатилиши иссиқлик ўтказувчанлик дейилади. Иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни Фурье қонунидир:

$$Q = - \lambda \operatorname{grad} t F \tau, \quad \text{Вт}$$

ёки $q = - \lambda \operatorname{grad} t, \quad \text{Вт} / \text{м}^2$

бу ерда Q – иссиқлик оқими, Вт ;

q – иссиқлик оқимининг зичлиги, $q = Q/F$, Вт/м²

λ – иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини, Вт/м⁰С ;

$\operatorname{grad} t$ – ҳарорат градиенти, ⁰С/м ;

F – сирт юзаси, м² ;

τ – вақт, с ;

(–) – ишораси иссиқлик оқими билан ҳарорат градиентини қарама-қарши йўналганлигини билдиради.

Бир қатламли ясси деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2) F, \quad \text{Вт}$$

бу ерда t_1 ва t_2 – девор сиртларидаги ҳароратлар, ⁰С ;

δ – деворнинг қалинлиги, м ;

Кўп қатламли ясси деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги:

$$Q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} F, \quad \text{Вт}$$

ЦИЛИНДРИК ДЕВОРНИНГ ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИГИ

Иссиқлик оқимининг қизиқли зичлиги:

$$q_l = \frac{2\pi(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad \text{Вт/м}$$

Кўп қатламли цилиндрик девор учун:

$$q_l = \frac{2\pi(t_1 - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}, \quad \text{Вт/м}$$

Масалалар

86. Узунлиги $\ell=5$ м, баландлиги $h = 4$ м ва салинлиги $\delta=250$ мм бўлган қизил гишт девордан ўтган иссиқлик оқимини топинг. Девор сиртларидаги қароратлар $t_1 = 110^\circ\text{C}$, $t_2 = 40^\circ\text{C}$ ва қизил гиштнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти $\lambda = 0,7$ Вт/м $^\circ\text{C}$ га тенг.

Жавоб : $Q = 3920$ Вт.

87. Узунлиги 180 мм бўлган алюминий ھўлани бир тарафдан $t_{c1} = 400^\circ\text{C}$ иситкич ва иккинчи тарафдан $t_{c2} = 10^\circ\text{C}$ совиткич билан сисилган. Агар иссиқлик осими $Q = 176,8$ Вт, иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти $\lambda = 204$ Вт/м $^\circ\text{C}$ ва ён сиртларидан иссиқлик йўсолиши бўлмаганда ھўланинг термик саршилиги, қарорат градиенти ва кўндаланг кесими юзасини топинг.

Жавоб: $R = 0,88 \cdot 10^{-3}$ (м 2 ·К)/Вт ;

$\text{grad } t = 2166,7$ (К/м) ; $F = 400$ мм 2 .

Ечиш:

Бир ? лчамлилиқ шартлари:

1) ясси, 1-қатлам, δ ;

2) λ ;

3) $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$; $q_v = 0$;

4) $x=0$; $t = t_{c1}$

$x=\delta$; $t = t_{c2}$.

$$1) \text{ Иссислик узатилиши : } q_c = \frac{\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2}) ;$$

$$Q = \frac{204}{0,18} (400 - 10) = \frac{204}{0,18} \cdot 390 = 442 \cdot 10^3 \text{ (Вт/м}^2 \text{)} ;$$

$$2) \text{ Термик саршилик : } R = \frac{\delta}{\lambda} ;$$

$$R = \frac{0,18}{204} = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \cdot \text{К)} / \text{Вт}$$

3) Карорат градиенти:

$$\text{grad } t = \frac{q}{\lambda} = \frac{442000}{204} = 2166,7 \text{ (К/м)} ;$$

$$\text{grad } t = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{\delta} = \frac{390}{0,18} = 2166,7 \text{ (К/м)} ;$$

$$4) \text{ К? ндаланг кесим юзаси : } F = \frac{Q}{q}$$

$$F = \frac{176..8}{442000} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \text{)} = 400 \text{ (мм}^2 \text{)}$$

88. Ясси сиртни шундай изоляция Силиш керакки, бунда вақт бирлиги ичида бирлик юзадан ўтган иссиқлик 450 Вт/м² гдан ошмасин. Изоляция сиртларидаги қароратлар $t_1 = 450^\circ\text{C}$ ва $t_2 = 50^\circ\text{C}$ га тенг. Икки хил ҳолат учун изоляция калинлигини аниқланг:

а) совелитдан Силинган изоляция учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини

$$\lambda = 0,09 + 0,0000874 t \quad \text{Вт/м}^0\text{C}$$

б) асботермитдан СИЛИНГАН изоляция учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини

$$\lambda = 0,109 + 0,000146 t \quad \text{Вт/м}^0\text{C}$$

$$\text{Жавоб : а) } \delta = 100 \text{ мм} ;$$

$$\text{б) } \delta = 130 \text{ мм.}$$

89. Буг сазони ёниш камерасининг девори салинлиги $\delta_1 = 150$ мм бўлган шамот, калинлиги $\delta_2 = 50$ мм бўлган диатомит ва калинлиги $\delta_3 = 250$ мм бўлган қизил гиштдан иборат. Материалларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари мос равишда $\lambda_1 = 0,93$; $\lambda_2 = 0,13$ ва $\lambda_3 = 0,7$ Вт/м⁰С га тенг. Ёниш камерасининг ички сиртидаги ҳарорат $t_1 = 1200^\circ\text{C}$ ва ташқи сиртидаги ҳарорат $t_4 = 50^\circ\text{C}$ га тенг. Ёниш камерасининг деворидан ўтган иссиқлик оқимининг зичлиги ва қатламлар ёпишган сиртларидаги ҳароратларни аниқланг.

$$\text{Жавоб: } q = 1274 \text{ Вт/м}^2, t_2 = 995^\circ\text{C}, t_3 = 505^\circ\text{C}.$$

Ечиш :

Иссиқлик оқимининг зичлиги қуйидагича аниқланади:

$$q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{1200 - 50}{\frac{0,15}{0,93} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,25}{0,7}} = 1274 \text{ Вт/м}^2$$

Қатламлар ёпишган сиртларидаги ҳароратларни аниқлаймиз :

$$t_2 = t_1 - q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = 1200 - 1274 \frac{0,15}{0,93} = 995^\circ\text{C};$$

$$t_3 = t_4 + q \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 50 + 1274 \frac{0,25}{0,7} = 505^\circ\text{C}$$

90. Узунлиги 3 м, ички диаметри 140 мм ли буг қузури қалинлиги $\delta_2 = 20$ мм ва $\delta_3 = 40$ мм бўлган изоляция қатламинан иборат. Қувурнинг ва изоляция қатламларининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари мос равишда $\lambda_1 = 55$; $\lambda_2 = 0,037$ ва $\lambda_3 = 0,14$ Вт/м⁰С га тенг. Қувурнинг ички сиртидаги ҳарорат $t_1 = 300^\circ\text{C}$ ва изоляциянинг ташқи сиртидаги ҳарорат $t_4 = 55^\circ\text{C}$ га тенг. Буг қувурининг қалинлиги $\delta = 5$ мм. Буг қувуридан ўтган иссиқлик оқимини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } 517,5 \text{ Вт/м}.$$

Ечиш :

Буғ сувурининг ташси диаметрини топамиз:

$$d_2 = d_1 + 2\delta_1 = 140 + 2 \cdot 5 = 150 \text{ мм};$$

Изоляция диаметрларини топамиз:

$$d_3 = d_1 + 2\delta_1 = 150 + 2 \cdot 20 = 190 \text{ мм},$$

$$d_4 = d_1 + 2\delta_1 = 190 + 2 \cdot 40 = 270 \text{ мм};$$

Иссиқлик осяими:

$$Q = \frac{2\pi(t_1 - t_4)l}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3}} =$$
$$\frac{2 \cdot 3,14(300 - 55) \cdot 3}{\frac{1}{55} \ln \frac{150}{140} + \frac{1}{0.037} \ln \frac{190}{150} + \frac{1}{0.14} \ln \frac{270}{190}} = 517,5 \text{ Вт/м}$$

91. Агар 90-масаладаги изоляция катламларининг ўрнини алмаштирсак, изоляцияланган буг қувуридан ўтган иссиқлик қандай ўзгаради?

Жавоб: 490 Вт/м.

92. Диаметри 160/170 мм ли буг қувури $\delta = 100$ мм ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини $\lambda_{из} = 0,062(1 + 0,00363 t)$ Вт/м⁰С бўлган изоляция катламидан иборат. Қувурнинг ташқи сиртидаги ҳарорат $t_2 = 300$ °С, изоляциянинг ташқи сиртидаги ҳарорат 50°С га тенг бўлганда 1 м буг қувурдан йўқолган иссиқликни ва қувурнинг ички сиртидаги ҳароратни аниқланг.

Жавоб: $q_l = 205$ Вт/м, $t_1 = 300$ °С.

УЧИНЧИ ТАРТИБЛИ ЧЕГАРА ШАРТИДАГИ ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК (ИССИҚЛИК УЗАТИЛИШИ)

ИССИС иссиқлик ташувчидан совук иссиқлик ташувчига ўртадаги девор орқали иссиқликнинг узатилиши қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Q = k (t_{c1} - t_{c2}) F , \quad \text{Вт}$$

бу ерда : k – иссиқлик узатиш коэффиценти , $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$;

t_{c1} – ИССИС иссиқлик ташувчининг ҳарорати , $^\circ\text{С}$;

t_{c2} – СОВУС иссиқлик ташувчининг ҳарорати , $^\circ\text{С}$;

Бир қатламли ясси девордан иссиқлик узатилишида иссиқлик узатиш коэффиценти :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

бу ерда: α_1 ва α_2 – девор сиртларидаги иссиқлик бериш коэффицентлари, $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$;

λ – деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, $\text{Вт/м } ^\circ\text{С}$

δ – деворнинг қалинлиги, м;

Кўп қатламли девор учун иссиқлик узатиш коэффиценти:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Цилиндрик девордан иссиқлик узатилиши:

$$Q = k_1 \pi l (t_{c1} - t_{c2}) , \quad \text{Вт}$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}, \quad \text{Вт/м}^2\text{°C}$$

93. Буг қозонидаги тутун газларининг ҳарорати $t_{c1}=1000$ °C, сувнинг ҳарорати $t_{c2}=200$ °C, газлардан деворга иссиқлик бериш коэффициентини $\alpha_1=100$ Вт/м² °C ва девордан сувга иссиқлик бериш коэффициентини $\alpha_2=5000$ Вт/м² °C б? АГАНДА 1 м² иситиш сиртидан ўтган иссиқликни ва девор сиртларидаги ҳароратларни топинг. Девор материалынинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини $\lambda=50$ Вт/м °C ва қалинлиги $\delta=12$ мм га тенг.

$$\text{Жавоб: } q = 76560 \text{ Вт/м}^2, t_1 = 234 \text{ °C}, t_2 = 215 \text{ °C}.$$

Ечиш :

Иссиқлик оқимининг зичлиги :

$$q = k (t_{c1} - t_{c2}), \quad \text{Вт/м}^2$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{0.012}{50} + \frac{1}{5000}} = 95,7 \quad \text{Вт/м}^2\text{°C},$$

$$q = k (t_{c1} - t_{c2}) = 95,7 (1000 - 200) = 76560 \text{ Вт/м}^2$$

Девор сиртларидаги ҳароратлар:

$$t_1 = t_{c1} - q \frac{1}{\alpha_1} = 1000 - 76560 \frac{1}{100} = 234 \text{ °C};$$

$$t_2 = t_{c2} + q \frac{1}{\alpha_2} = 200 + 76560 \frac{1}{5000} = 215 \text{ °C}.$$

94. Қозондаги газнинг ҳарорати $t_{c1}=1100$ °C, сувнинг ҳарорати $t_{c2}=200$ °C, яъни девордан ўтган иссиқлик ОСИМИНИНГ зичлиги $q=50000$ Вт/м² ва девордан сувга иссиқлик бериш коэффициентини $\alpha_2=5700$ Вт/м² °C га тенг. Агар девор материалынинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини $\lambda=56$ Вт/м °C, қалинлиги $\delta=12$ мм

бўлса, иссиқлик узатиш коэффициентлари, газлардан деворга иссиқлик бериш коэффициентлари ва қозон девори сиртларидаги ҳароратларини аниқланг.

$$\text{Жавоб : } k = 55,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} , \alpha_1 = 55,5 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} , \\ t_1 = 200 \text{ } ^\circ\text{C} , t_2 = 188 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

95. Буг қозонининг девори қалинлиги $\delta_1=230$ мм бўлган ўтга бардошли гиштдан, қалинлиги $\delta_2^{90}=40$ мм ҳаводан ва қалинлиги $\delta_3=380$ мм бўлган қизил гиштдан иборат. Буг қозонидаги газларининг ҳарорати $t_{c1}=1100$ $^\circ\text{C}$ ва қавонинг ҳарорати $t_{c2}=30$ $^\circ\text{C}$ бўлганда, қозон девори қатламлари орасидаги ҳавонинг атроф-муҳитга йўқолаётган иссиқликка ва ташқи сирт ҳароратига таъсирини аниқланг. Газлардан деворга иссиқлик бериш коэффициентлари $\alpha_1=10$ $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ва девордан ҳавога иссиқлик бериш коэффициентлари $\alpha_2=5$ $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ тенг. Девор материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари мос равишда : $\lambda_1=1,65$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$, $\lambda_2=0,4$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$ ва $\lambda_3=0,7$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$.

Жавоб: Иссиқликнинг йўқолиши 50,5 % ,
ташқи қатлам ҳарорати 110 $^\circ\text{C}$ га камаяди.

96. Диаметри 150 / 165 мм бўлган қувур ичида ҳарорати $t_{c1}=90$ $^\circ\text{C}$ бўлган сув қаракатланади. Қувурнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари $\lambda=50$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$, атроф-муҳитнинг ҳарорати $t_{c2}=-15$ $^\circ\text{C}$, сувдан қувур деворига иссиқлик бериш коэффициентлари $\alpha_1=1000$ $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ва қувурдан ҳавога иссиқлик бериш коэффициентлари $\alpha_2=12$ $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ бўлганда, 1 м қувур сиртдан ўтган иссиқлик ва қувурнинг ички, ташқи сиртларидаги ҳароратларни аниқланг.

$$\text{Жавоб : } q_1 = 652 \text{ Вт / м} , t_1 = 89,8 \text{ } ^\circ\text{C} , t_2 = 89,6 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

97. Диаметри 44 / 51 мм ли қувур қалинлиги 80 мм бўлган бетон қатлами билан изоляцияланган. Қувурнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари $\lambda_1=50$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$ ва изоляциянинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари $\lambda_2=1,28$ $\text{Вт/м } ^\circ\text{C}$ га тенг.

Кувурда мой қаракатланади. Мойнинг ҳарорати $t_{c1} = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, атроф- муҳитнинг ҳарорати $t_{c2} = 20^{\circ}\text{C}$, мойдан деворга иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_1 = 100\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ва девордан ҳавога иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_2 = 10\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ бўлганда 1 м кувур сиртдан ўтган иссиқлик, бетонланган кувурдан ўтган иссиқликни аниқланг. Қар қандай қалинликдаги 1 м изоляцияланган кувурдан ўтган иссиқлик кувур сиртидан ўтган иссиқликдан катта бўлмаслиги учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти қандай бўлиши керак?

Жавоб: кувур сиртидан ўтган иссиқлик $q_1 = 142,5\text{ Вт/м}$, бетон билан қопланган кувурдан ўтган иссиқлик $q_1 = 249\text{ Вт/м}$; изоляциянинг ҳар қандай қалинлигида кувур сиртидан ўтган иссиқлик изоляцияланган кувурдан ўтган иссиқликдан кичик бўлиши учун $\lambda_{из} \leq 0,26\text{ Вт/м }^{\circ}\text{C}$ га тенг бўлиши керак.

98. Диаметри 100/110 мм-ли пўлат кувур асфальт қатлами билан изоляция қилинган. Кувур ичида ҳарорати $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ бўлган сув ҳаракатланади. Атроф-муҳитнинг ҳарорати $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ га тенг. Сувдан кувур деворига иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_1 = 1800\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ва кувурдан ҳавога иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha_2 = 9\text{ Вт/м}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ бўлганда, асфальт қатламининг критик диаметри ва 3 м кувур сиртидан ўтган иссиқликни аниқланг. Пўлатнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти $\lambda = 40\text{ Вт/м }^{\circ}\text{C}$ ва асфальтнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти $\lambda = 0,57\text{ Вт/м }^{\circ}\text{C}$ га тенг.

Жавоб : $d_{кр} = 0,126\text{ м}$, $Q_1 = 710\text{ Вт}$.

КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНУВИ

Саттис сирт билан суяқлик ёки газ орасидаги иссиқлик алмашинуви конвектив иссиқлик алмашинуви дейилади. Конвектив иссиқлик алмашинуви Ньютон–Рихман қонуни билан ифодаланади:

$$Q = \alpha (t_{с.с} - t_c) F, \quad \text{Вт}$$

бу ерда : α – иссиқлик бериш коэффициенти , $\text{Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{С}$;

$t_{s,c}$ – каттик сиртнинг ҳарорати, $^\circ\text{С}$;

t_c – суяқ сиртнинг ҳарорати, $^\circ\text{С}$.

Эркин конвекция учун мезонлар тенгламаси :

Горизонтал жойлашган қувурлар , агар $10^3 < Gr_c Pr_c < 10^9$ бўлса,

$$Nu = 0,5 (Gr_c Pr_c)^{0,25} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Вертикал қувурлар ва ясси вертикал сиртлар ламинар ҳолатда агар $10^3 < Gr_c Pr_c < 10^9$ бўлса,

$$Nu = 0,76 (Gr_c Pr_c)^{0,25} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Вертикал қувурлар ва ясси вертикал сиртлар турбулент ҳолатда агар $Gr_c Pr_c < 10^9$ бўлса,

$$Nu = 0,15 (Gr_c Pr_c)^{0,33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Мажбурий конвекция учун мезонлар тенгламаси:

Горизонтал пластина атрофида турбулент қаракатланиши

$$Nu = 0,037 Re_c^{0,8} Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Горизонтал пластина атрофида ламинар қаракатланиши

$$Nu = 0,66 Re_c^{0,5} Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Қувур ичида турбулент қаракатланиши

$$Nu = 0,021 Re_c^{0,8} Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Қувур ичида ламинар қаракатланиши

$$Nu = 0,15 Re_c^{0,33} Pr_c^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa,c}} \right)^{0,25} .$$

Қувурларни қўндаланг оқиб ўтишида
($10 < Re_c < 10^3$)

$$Nu = 0,5 Re_c^{0,5} Pr_c^{0,38} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}} \right)^{0,25} ;$$

ҳаво учун $Nu = 0,44 Re_c^{0,5}$.

Кувурларни кўндаланг оқиб ўтишида
($10^3 < Re_c < 10^9$)

$$Nu = 0,25 Re_c^{0,6} Pr_c^{0,38} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}} \right)^{0,25} ;$$

ҳаво учун $Nu = 0,22 Re_c^{0,6}$. 93

Коридорли жойлашган қувурлар тўпламидан оқиб ўтишида

$$Nu = 0,23 Re_c^{0,65} Pr_c^{0,33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}} \right)^{0,25} .$$

Шахматли жойлашган қувурлар тўпламидан оқиб ўтишида

$$Nu = 0,41 Re_c^{0,6} Pr_c^{0,33} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}} \right)^{0,25} .$$

Бу ерда :

$$\text{Нуссельт мезони} \quad Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} ;$$

$$\text{Рейнольдс мезони} \quad Re_c = \frac{\omega d}{\gamma} ;$$

$$\text{Прандтл мезони} \quad Pr_c = \frac{\gamma}{\alpha} ;$$

$$\text{Грасгофф мезони} \quad Gr_c = \frac{g \beta \Delta t d^3}{\gamma^2} ,$$

ω – тезлик , м/с ;

g – эркин тушиш тезланиши , м²/с ;

γ – кинематик соvuшsosлик коэффициентлари , м²/с ;

$\beta = 1/T$ – термик кенгайиш коэффициентлари

Бу тенгламалардаги кўпайтма $\left(\frac{Pr_c}{Pr_{к.с}} \right)^{0,25}$ ҳаво учун 1 га тенг деб

олинади.

Масалалар

99. Горизонтал иссиқлик алмашув аппаратининг диаметри $d = 400$ мм , сиртининг ҳарорати $t_{s,c} = 200$ °С ва хонадаги ҳавонинг ҳарорати $t_k = 30$ °С га тенг бўлганда вақт бирлиги ичида 1 м² горизонтал иссиқлик алмашув аппарати сиртидан ўтган иссиқликни аниқланг.

$$\text{Жавоб: } q = 1000 \text{ Вт / м}^2.$$

Ечиш :

Иссиқлик оқимининг зичлиги:

$$q = \alpha (t_{k,c} - t_c)$$

Иссиқлик бериш коэффициентини эркин конвекция учун:

$$Nu = 0,5 (Gr_c Pr_c)^{0,25}$$

Ҳаво ҳароратида $t_x = 30$ °С параметрларни жадвалдан оламиз :

$$\gamma = 16,0 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}; \lambda = 2,67 \cdot 10^{-2}, \text{ Вт/м}^0\text{С}$$

$$\beta = 1/T = 1/30 + 273 = 1/303 \text{ К}^{-1}; Pr = 0,701$$

$$(Gr_c Pr_c) = \frac{g\beta\Delta t d^3}{\gamma^2} Pr_c = \frac{9,81 \cdot (200 - 30) 0,4^3}{303(16 \cdot 10^{-6})} 0,701 = 9,75 \cdot 10^8$$

$$Nu = 0,5 (Gr_c Pr_c)^{0,25} = 0,5 (9,75 \cdot 10^8)^{0,25} = 88,2$$

Бу ердан иссиқлик бериш коэффициентини топамиз :

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 88,2 \frac{2,67 \cdot 10^{-2}}{0,4} = 5,9 \text{ Вт / м}^2 \text{ }^0\text{С}$$

Вақт бирлиги ичида 1 м² иссиқлик алмашув сиртидан ўтган иссиқлик

$$q = \alpha (t_{k,c} - t_c) = 5,9 (200 - 30) = 1000 \text{ Вт / м}^2.$$

100. Баландлиги 2 м бўлган вертикал плитанинг иссиқлик бериш коэффициентини аниқланг, агар плита сиртининг ҳарорати $t_{s,c}=100$ °С ва атроф-муҳитнинг ҳарорати $t_x = 20$ °С га тенг бўлса,

$$\text{Жавоб : } \alpha = 7,92 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

101. Мой бакидаги МС маркали мой диаметри 20 мм ли горизонтал қувурлар ёрдамида ҳарорати бир хилда сакланади. Мойнинг ҳарорати $t_c = 60^\circ\text{C}$ ва қувур сиртидаги ҳарорат $t_{s,c} = 90^\circ\text{C}$ бўлганда қувур сиртидан мойга берилган иссиқлик бериш коэффициентини аниқланг.

$$\text{Жавоб : } \alpha = 96,2 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

102. Диаметри 76 мм ва баландлиги 4 м бўлган вертикал изоляцияланмаган қувур ҳавога иссиқлик беради. Ҳавонинг ҳарорати 20°C ва қувур сиртидаги ҳарорат $t_{s,c} = 80^\circ\text{C}$ га тенг. Қувурдан чиққан иссиқликни аниқланг.

$$\text{Жавоб : } Q = 413 \text{ Вт}$$

103. Квадрат кесимли каналнинг эни $a = 10 \text{ мм}$ ва узунлиги $l = 1600 \text{ мм}$ га тенг. Каналдан, сув $w = 4 \text{ м/с}$ тезликда оқиб ? тади. Сувнинг ҳарорати $t_c = 40^\circ\text{C}$ ва каналнинг ички сиртидаги ҳарорат $t_{s,c} = 90^\circ\text{C}$ бўлганда канал деворидан сувга иссиқлик бериш коэффициенти ва иссиқлик оқимини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } \alpha = 20300 \text{ Вт/м}^2\text{ } ^\circ\text{C}, Q = 50994 \text{ Вт}.$$

Ечиш :

Каналнинг эквивалент диаметрини аниқлаймиз :

$$d_s = \frac{4f}{u} = \frac{4a^2}{4a} = a = 0,01 \text{ м}$$

бу ерда f – каналнинг юзаси, м^2 .

u – каналнинг периметри, м .

Сувнинг $t_c = 40^\circ\text{C}$, ҳароратида физик хусусиятлари:

$$\nu_c = 0,659 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \lambda_c = 0,634 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}; \text{Pr}_c = 4,3$$

$$t_{s,c} = 90^\circ\text{C} \text{ да } \text{Pr}_{s,c} = 1,95$$

Рейнольдс сони

$$Re = \frac{wd_s}{\nu} = \frac{4 \cdot 0,01}{0,659 \cdot 10^{-6}} = 6,07 \cdot 10^4 > 10^4$$

Ҳаракат ҳолати – турбулент

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} Pr_{\kappa, c}^{0,43} \left(\frac{Pr_c}{Pr_{\kappa, c}} \right)^{0,25} = 0,021 (6,07 \cdot 10^4)^{0,8} (4,3)^{0,43} \left(\frac{4,3}{1,95} \right)^{0,25} = 320$$

Иссиқлик бериш коэффициентини

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d_s} = 320 \frac{0,634}{0,01} = 20300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$$

Иссиқлик оқими:

$$Q = \alpha (t_{\kappa, c} - t_c) \pi d l = 20300 (90 - 60) 3,14 \cdot 0,01 \cdot 1,6 = 50994 \text{ Вт.}$$

104. Узунлиги $l=2\text{м}$ ва эни $a=1,5\text{м}$ горизонтал пластинадан ҳаво оқими ўтади. Ҳаво оқимининг тезлиги $w=3\text{м/с}$, ҳарорати 20°С ва пластина сиртидаги ҳарорат 90°С га тенг. Пластинадан ҳавога иссиқлик бериш коэффициентини ва иссиқлик миқдорини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } \alpha = 4,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}, \quad Q = 2050 \text{ Вт}$$

105. Ички диаметри $d=50\text{ мм}$ бўлган қувурдан сув $W=0,8\text{ м/с}$ тезликда оқиб ўтади. Сувнинг ҳарорати $t_c=50^\circ\text{С}$, қувур сиртидаги ҳарорати $t_{\kappa, c}=65^\circ\text{С}$ бўлганда 1 м қувур сиртидан ўтган иссиқликни аниқланг.

$$\text{Жавоб: } q_\ell = 9,03 \text{ кВт/м.}$$

106. Ташки диаметри $d=15\text{ мм}$ бўлган сув калориметрини ҳаво оқими қўндалангига оқиб ўтади. Ҳаво калориметр ўқиға 90° бурчак остида 2 м/с тезлик билан қаракатланади. Ҳавонинг ҳарорати 20°С ва калориметр ташки сиртининг ҳарорати $t_{\kappa, c}=80^\circ\text{С}$ га тенг. Иссиқлик бериш коэффициентини ва бирлик узунликдаги иссиқлик оқимини аниқланг.

Жавоб: $\alpha=36,3 \text{ Вт/2м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, $q_\ell=102 \text{ Вт/м}$.

НУРЛАНИШ УСУЛИДА ИССИҚЛИК УЗАТИЛИШИ

Жисм сиртидан нурланиш оркали узатилган энергияси:

$$E=c \frac{T^4}{100}$$

C - нурланиш коэффиценти.

Иккита параллел сиртлар орасидаги иссиқлик алмашуви:

$$Q=C_0 E_{\text{кел}} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F; \quad 97 \text{ Вт.}$$

$C_0=5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$, - мутлак қора жисмнинг нурланиш коэффиценти;

$$E_{\text{кел}} = \frac{1}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} - 1} \text{ - келтирилган қорайиш даражаси;}$$

E_1 ва E_2 - сиртларнинг қорайиш даражаси;

T_1, T_2 - сиртларнинг мутлак ҳарорати, К.

Масалалар

107. Диаметри 120 мм бўлган қувур $400 \times 400 \text{ мм}^2$ кесимли каналга ўрнатилган. Қувур изоляциясининг сиртидаги ҳарорат 127°C . Ёишт канал 1 м қувурдан нурланиш оркали йўқолган иссиқликни аниқланг. Сиртлардаги қорайиш даражаси 0,93 га тенг деб олинсин. Ечиш:

$$\varepsilon_{\text{кел}}^2 \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} = \frac{1}{\frac{1}{0,93} + 0,238 \left(\frac{1}{0,93} - 1 \right)} = 0,915$$

1 м қувурдан нурланиш орқали йўқолган иссиқлик:

$$Q = \varepsilon_{\text{кел}} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F_1 = 0,915 \cdot 5,67 \cdot 0,377 \left[\left(\frac{400}{100} \right)^4 - \left(\frac{300}{100} \right)^4 \right] = 342 \text{ Вт}$$

108. Канал бўйлаб иссиқ газ қаракатланади. Газнинг ҳарорати термопара билан ўлчанади. Термопаранинг кўрсатиши $t_1=300^\circ\text{C}$ га ва девор ҳарорати $t_2=200^\circ\text{C}$ га тенг. Канал девори ва термопара орасида нурланиш усулида иссиқлик алмашуви натижасида газ ҳароратини ўлчашдаги хатони топинг. Термопаранинг қорайиш даражаси $\varepsilon_1=0,8$, газдан термопарага иссиқлик бериш коэффиценти $\alpha=58 \text{ Вт/м}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ га тенг.

Жавоб: хатолик $45,5^\circ\text{C}$,

газнинг ҳақиқий ҳарорати $t_t=345,5^\circ\text{C}$.

109. Тутун газлар 15% CO_2 ва 7,5% H_2O таркиб билан кесими $600 \times 600 \text{ мм}$ тўғри бурчакли газоходдан ўтади. Газнинг ҳарорати 800°C ва газоход сиртидаги ҳарорат 600°C , сиртнинг қорайиш даражаси $E=0,9$. Газоходнинг ҳар метр узунлигида газдан газоход деворига нурланиш орқали узатилган иссиқликни аниқланг. Газоходдаги босим атмосфера босимига тенг.

Ечиш:

Газнинг 1 м узунлигида нурнинг ўртача узунлиги:

$$\ell = 3,6 \frac{V}{F} = 3,6 \frac{0,36}{2,4} = 0,54$$

Парциал босим:

$$P_{\ell \text{ CO}_2} = 0,15 \cdot 0,54 = 0,081 \text{ м·бар}$$

$$P_{\ell \text{ H}_2\text{O}} = 0,075 \cdot 0,54 = 0,0405 \text{ м·бар}$$

Номограммалар (расм) орқали:

$$E_{\text{CO}_2} = 0,105$$

$$E_{\text{H}_2\text{O}} = 0,011$$

Тутун газларнинг қорайиш даражаси:

$$E_{\text{г}} = E_{\text{CO}_2} + \beta_{\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,177$$

Сиртнинг қорайиш даражаси:

$$E_{\kappa c} = 0,5(1 + E_{\kappa c}) = \frac{0,9 + 1}{2} = 0,95$$

Нурланиш орқали иссиқликнинг узатилиши:

$$Q_{\ell} = E_{\kappa c}^1 E_t C_0$$

$$\left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F = 0,95 \cdot 0,177 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{1073}{100} \right)^4 - \left(\frac{873}{100} \right)^4 \right] 2,4 = 17140 \text{ Вт/м}$$

110. Иситиш печидаги ҳарорати 1200°C . Печнинг ҳажми $V=12\text{м}^3$ ва тўла юзаси $F=28\text{ м}^2$ га тенг.

Иситиш печидаги босим $98,1\text{ кПа}^{99}$, сув бугларининг парциал босими $P_{H_2O}=12\text{кПа}$ га тенг бўлганда газнинг қорайиш даражасини ва нурланишини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } E_t=0,215; \quad E_r=57400 \text{ Вт/м}^2.$$

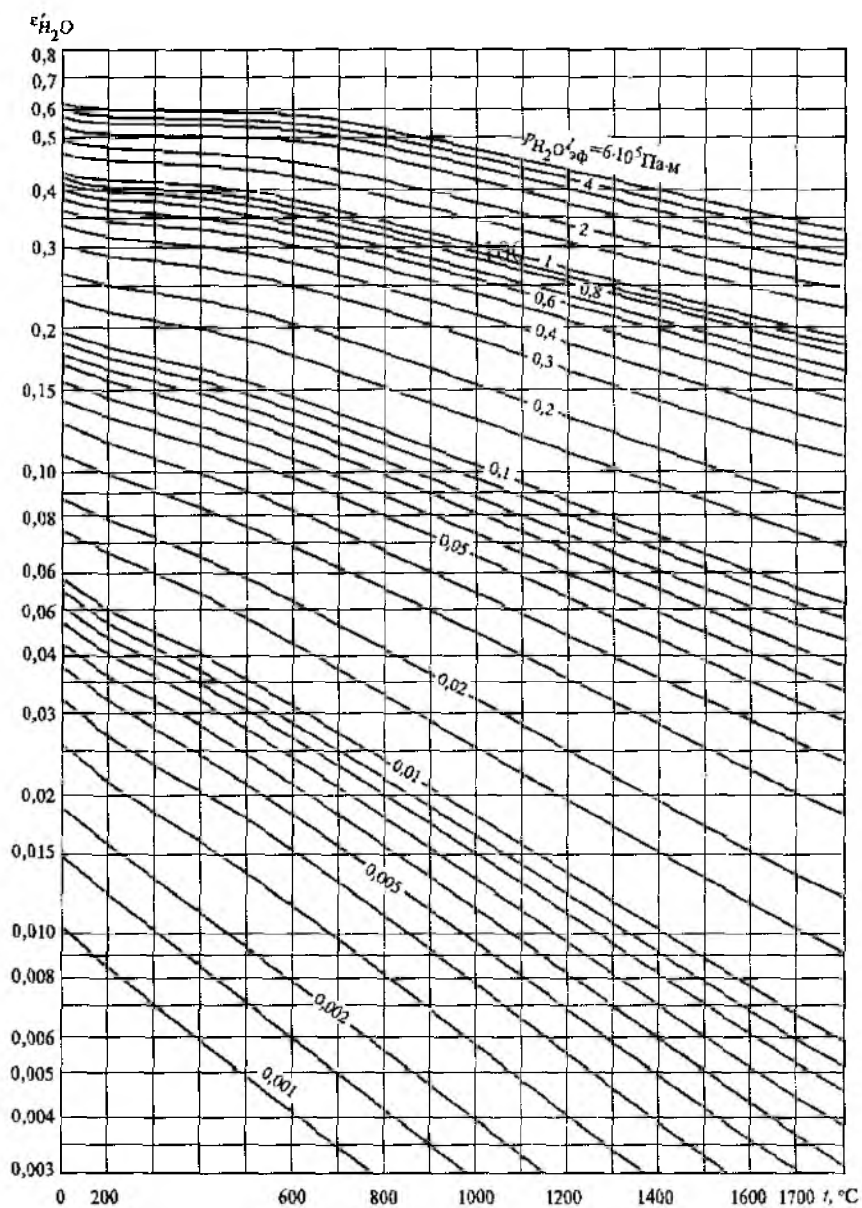
111. Диаметри $d=0,5\text{ мм}$ ва узунлиги $\ell=2,5\text{м}$ бўлган электр иситгич симнинг ҳароратини аниқланг. Симнинг қорайиш даражаси $E=0,9$; атрофидаги арматуранинг ҳарорати 15°C , иситгичнинг қуввати $0,4\text{ кВт}$ га тенг. Конвекция ҳисобига олинмасин.

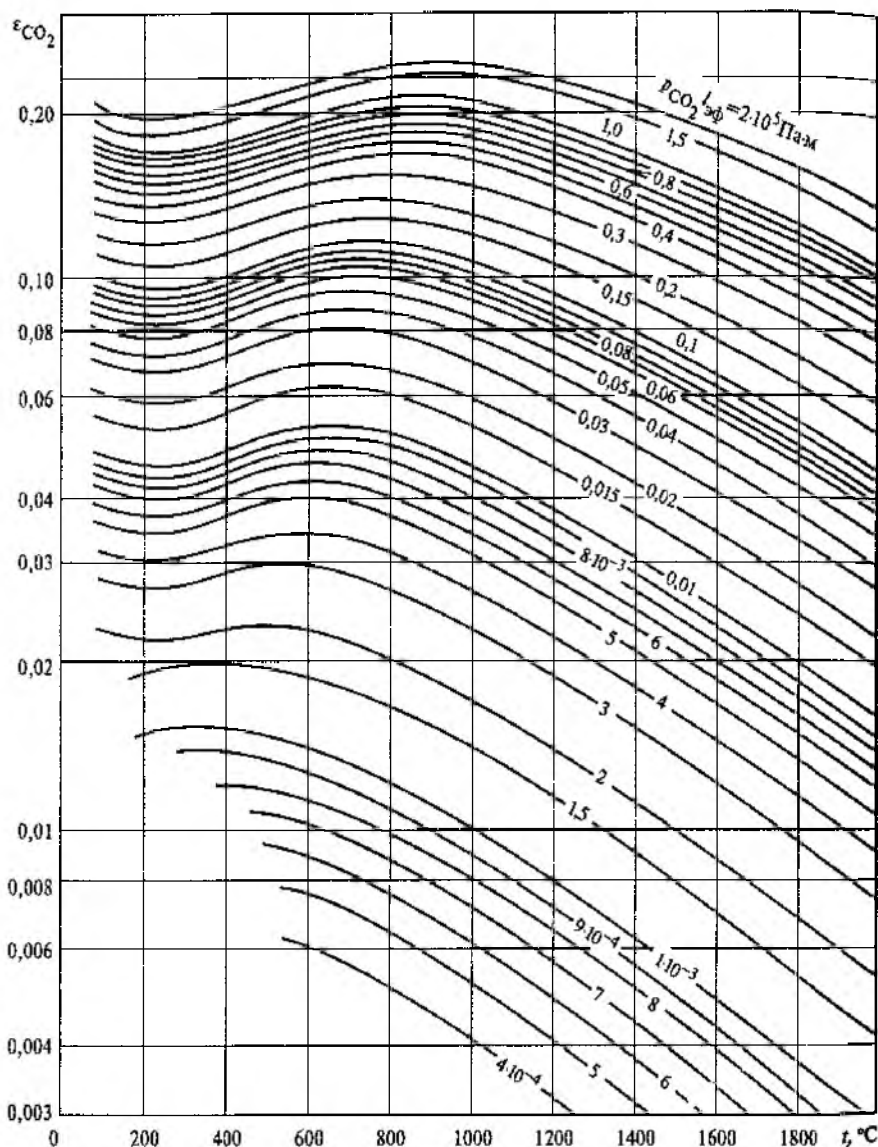
$$\text{Жавоб: } t_1=910^{\circ}\text{C}.$$

112. Ташки диаметри 200мм бўлган буг қувири ҳарорати 30°C ли хонага ўрнатилган. Буг қувири сиртидаги ҳарорат 400°C . Буг қувурнинг бирлик узунликда нурланиш ва конвекция орқали узатган иссиқлигини аниқланг. Қувурнинг қорайиши даражаси $E=0,8$ га тенг.

$$\text{Жавоб: } q_{\ell}^{\text{нур}} = 5600 \text{ Вт/м}; \quad q_{\ell}^{\text{конв}} = 1970 \text{ Вт/м};$$

$$\frac{q_{\ell}^{\text{нур}}}{q_{\ell}^{\text{конв}}} = 2,84$$





26-расм. Газнинг p_{CO_2} қар хил сийматларида ϵ_{CO_2} нинг қароратга боғлислиги

XIII БОБ

ИССИСЛИК АЛМАШУВ АППАРАТЛАРИ

Иссисликни иссис иссислик ташувчидан (газ) совус иссислик ташувчига узатиб берадиган сурилмаларга иссислик алмашинув аппаратлари дейилади.

Иссиқлик алмашинув аппаратларини ишлаш принципига кўра рекуператив, регенератив ва аралаштирувчи аппаратларга бўлиш мумкин.

Техникада рекуператив иссиқлик алмашинув аппаратлари кенг ишлатилади.

Рекуператив иссислик алмашинув аппаратлари т? ҳри осимли, тескари й? налишли ва к? ндаланг осимли аппаратга б? линади.

Т? ҳри осимли иссислик алмашинув аппаратларида иссис ва совус суюсликлар параллел равишда осади.

Тескари осимли аппаратларида бир-бирига сарама-сарши ~~й?~~ налган б? лади.

Иссислик алмашинув аппаратларини кйисоблашда иссислик баланси тузилади ва унинг юзаси анисланади.

$$Q = G_1 C_{P1} (t_1' - t_1'') = G_2 C_{P2} (t_2'' - t_2') \quad , \text{ Вт}$$

G_1 – иссис суюслик сарфи, кг/с;

G_2 – совус суюслик сарфи, кг/с;

C_{P1} - иссис суюсликнинг иссислик сиҳими, кЖ/кг
°С;

C_{p2} - совус суюсликнинг иссислик сиѳими, $\text{кЖ/кг } ^\circ\text{C}$;

t_1' - иссис суюсликнинг киришдаги қарорати, $^\circ\text{C}$;

t_1'' - иссис суюсликнинг чисишдаги қарорати, $^\circ\text{C}$;

t_2' - совус суюсликнинг киришдаги қарорати, $^\circ\text{C}$;

t_2'' - совус суюсликнинг чисишдаги қарорати, $^\circ\text{C}$.

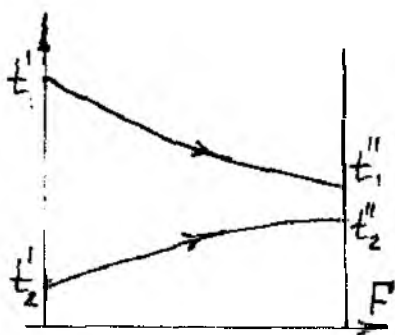
Иссислик алмашинув юзаси иссислик узатиш ифодасидан топилади.

$$Q = k \Delta t F, \quad \text{Вт}$$

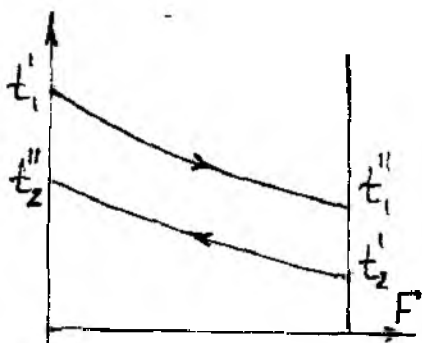
k - иссислик узатиш коэффициенти; $\text{Вт/м}^2\text{К}$

Δt - ? ртача логарифмик қароратлар фарси, $^\circ\text{C}$.

F - сирт юзаси, м^2 .



а



б

28-расм. а) т? ѳри осимли;

б) тескари осимли.

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{кат}} - \Delta t_{\text{кич}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}}}$$

113. Ички ёнув двигателининг тескари й? налишли сувли мой совитгич мой 65 °C дан 55 °C гача совитилапти. Совитувчи сувнинг киришдаги қарорати 16 °C ва чишишдаги қарорати 25 °C. Мойнинг сарфи 0,8 кг/сек. Иссислик узатиш коэффиценти 280 Вт/м² °C, мойнинг иссислик сиғими 2,45 кЖ/кг °C. Иссислик алмашув юзасини ва сувус сувнинг сарфини топинг. Ечиш:

$$Q = G_1 C_{p1} \Delta t_1 = 0,8 \cdot 2,45 (65 - 55) = 19,6 \text{ кВт.}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\text{кат}} - \Delta t_{\text{кич}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{кат}}}{\Delta t_{\text{кич}}}} = \frac{(65 - 55) - (55 - 16)}{\ln \frac{65 - 55}{55 - 16}} = 39,5 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{19600}{280 \cdot 39,5} = 1,77 \text{ м}^2$$

$$G = \frac{Q}{C_{p2} \cdot \Delta t_2} = \frac{19,6}{4,19 \cdot 9} = 0,52 \text{ кг/сек.}$$

114. МС маркали мой совитиш аппаратида мой 70°C дан 30°C гача совитилади. Совитувчи сувнинг киришдаги қарорати 20°C га тенг. Мойнинг сарфи $G_1=10000$ кг/соат ва сувнинг сарфи $G_2=20400$ кг/соат. Мой совитиш аппаратида чиккан сувнинг ҳароратини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } t_2'' = 30^\circ\text{C.}$$

115. Сув экономайзерида газ билан сув сарама-сарши й? налишларда қаракатланиб, бир-бири билан иссислик алмашинмошда. Газнинг сарфи $G_1=220$ т/соат, газнинг экономайзери киришдаги қарорати $t_1^1 = 400$ °C, газнинг массавий иссислик сиғими $C_{p1} = 1,04$

кЖ/кгК. Сувнинг сарфи $G_2 = 120$ т/соат, сувнинг экономайзерга киришдаги ҳарорати $t_2^1 = 105^\circ\text{C}$. Газдан суюқликка узатиладиган иссиқлик осими $Q = 13,5$ МВт, газдан сувга иссиқлик узатиш коэффициентини $k = 79$ Вт/м² К. Сув экономайзеридаги иссиқлик алмашилиш юзаси топилин.

$$\text{Жавоб : } F = 1100 \text{ м}^2$$

116. Қувур-қувурда қарама-қарши йўналишли иссиқлик алмашув аппаратида сув 15°C дан 45°C гача иситилади. Сувнинг сарфи $G_2 = 3200$ кг/соат. Ташқи қувурнинг ички диаметри $D = 48$ мм ва битта секция қувурининг узунлиги $l = 1,9$ м. Иссиқ сув диаметри $d_2/d_1 = 35/32$ мм бўлган пўлат қувурда ҳаракатланиб киришдаги ҳарорати $t_1^1 = 95^\circ\text{C}$ га тенг. Иссиқ сувнинг сарфи $G_1 = 2130$ кг/соат. Қувур-қувурда қарама-қарши йўналишли иссиқлик алмашув аппаратининг иситиш юзасини ва секциялар сонини аниқланг.

$$\text{Жавоб: } F = 1100 \text{ м}^2, n = 7.$$

Ечиш :

Сувнинг иссиқлик сизими $c_p = 4,19$ кЖ/кг $^\circ\text{C}$.

Иссиқлик миқдори:

$$Q = G_2 c_{p2} (t_{c2}'' - t_{c2}') = \frac{3200}{3600} 4,19 (45 - 15) = 111 \text{ кВт}$$

Иссиқ сувнинг чиқишдаги ҳарорати

$$t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1 c_{p1}} = 95 - \frac{111 \cdot 3200}{2130 \cdot 4,19} = 50^\circ\text{C}$$

Иссиқлик ташувчиларнинг ўртача ҳароратини аниқлаймиз ва шу ҳарорат бўйича сувнинг физик хусусиятларини оламиз:

$$t_{c1} = 0,5(t_{c2}' + t_{c2}'') = 0,5(95 + 50) = 72,5^\circ\text{C}$$

$$\rho_{c1} = 976 \text{ кг/м}^3; \nu_{c1} = 0,403 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\lambda_{c1} = 0,670 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}; \text{Pr}_{c1} = 2,47$$

$$t_{c2}=0,5(t'_{c2} + t''_{c2})=0,5(15+45)=30^0\text{C}.$$

$$\rho_{c2}=996\text{кг/м}^3; \quad \nu_{c2}=0,805 \cdot 10^{-6} \text{м}^2/\text{с}$$

$$\lambda_{c2}=0,618 \text{ Вт/(м} \cdot ^0\text{C)}; \quad \text{Pr}_{c2}=5,42$$

Иссиқлик ташувчиларининг тезлиги

$$\omega_1 = \frac{4G_1}{\rho_{c1} \pi d_1^2 3600} = \frac{4 \cdot 2130}{976 \cdot 3,14 (3,2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 3600} = 0,755 \quad \text{м/с}$$

$$\omega_2 = \frac{4G_2}{\rho_{c2} \pi (D^2 - d_1^2) 3600} = \frac{4 \cdot 3200}{996 \cdot 3,14 (4,8^2 - 3,5^2) 10^{-4} \cdot 3600} = 1,06 \text{ м/с}$$

Иссиқ сув ошими учун Рейнольдс сони

$$\text{Re}_{c1} = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_{c1}} = \frac{0,755 \cdot 3,2 \cdot 10^{-2}}{0,403 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^4$$

Иссиқ сув ошими турбулент қолатда ва Нуссельт сонини аниқлаймиз:

$$\text{Nu}_{c1} = 0,021 \text{Re}_{c1}^{0,8} \text{Pr}_{c1}^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_{c1}}{\text{Pr}_{cf}} \right)^{0,25}$$

$$\text{Nu}_{c1} = 0,021 (6 \cdot 10^4)^{0,8} (2,47)^{0,43} \left(\frac{2,47}{3,5} \right)^{0,25} = 188$$

ИССИС сувдан қувур деворига иссиқлик бериш коэффициентини:

$$\alpha_1 = \text{Nu}_{c1} \frac{\lambda_{c1}}{d_1} = 188 \frac{0,670}{3,2 \cdot 10^{-2}} = 3940 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^0\text{C)}.$$

Совуқ сув оқими учун Нуссельт сонини аниқлаймиз:

$$\text{Re}_{c2} = \frac{\omega_2 d_2}{\nu_{c2}} = \frac{1,06 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2}}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 1,71 \cdot 10^4$$

Бу ерда канал учун эквивалент диаметр:

$$d_3 = D - d_2 = 48 - 35 = 13 \text{ мм}.$$

Совуқ сув оқим ҳолати турбулент ва Нуссельт сонини аниқлаймиз:

$$\text{Nu}_{c2} = 0,017 \text{Re}_{c2}^{0,8} \text{Pr}_{c2}^{0,4} \left(\frac{\text{Pr}_{c2}}{\text{Pr}_{c2}} \right)^{0,25} \frac{D}{d_2}^{0,18}$$

$$Nu_{c2}=0,017(1,71 \cdot 10^4)^{0,8} (5,42)^{0,4} \left(\frac{5,42}{3,5} \right)^{0,25} \left(\frac{48}{35} \right)^{0,18} = 95$$

Кувур деворидан совук сувга иссиқлик бериш коэффициенти:

$$\alpha_2 = Nu_{c2} \frac{\lambda_{ж2}}{d_3} = 958 \frac{0,618}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 4500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Иссиқлик узатиш коэффициенти:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3940} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{45} + \frac{1}{4500}} = 1970 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\text{Бу ҳолатда } \frac{t'_{ж1} - t''_{ж2}}{t''_{ж1} - t'_{ж2}} = \frac{50}{35} < 1,5 \text{ бўлгани учун ўртача арифметик}$$

ҳароратлар фарқи қуйидагича бўлади:

$$\Delta t_a = t_{ж1} - t_{ж2} = 72,5 - 30 = 42,5^\circ\text{C}$$

Иссиқлик оқимининг зичлиги :

$$q = k \Delta t_a = 1970 \cdot 42,5 = 8,37 \cdot 10^4 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Иситиш сирт юзаси :

$$F = \frac{Q}{q} = \frac{111}{83,7} = 1,33 \text{ м}^2 \quad 107$$

Секциялар сони:

$$n = \frac{F}{\pi d_1 l} = \frac{1,33}{\pi \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1,9} = 7$$

117. Қувур-қувурда иссиқлик алмашув аппаратида трансформатор мойи сув билан совитилади. Диаметри $d_2/d_1=14/12$ мм бўлган латунь қувурида трансформатор мойи 4 м/с тезлик билан қаракатланади. Мойнинг киришдаги ҳарорати $t_1^1=100^\circ\text{C}$ ва чиқишдаги ҳарорати $t_1^{11}=60^\circ\text{C}$. Сувнинг тезлиги 2,5 м/с ва киришдаги ҳарорати $t_2^1=20^\circ\text{C}$. Ташқи

қувурнинг ички диаметри $d_3=22$ мм. Иссиқлик алмашув сиртининг узунлигини топинг.

Жавоб: $\ell = 11,6$ м.

118. Қарама-қарши йўналишли иссиқлик алмашув аппаратидаги иссиқ сувнинг киришдаги ҳарорати 80°C , чиқишдаги ҳарорати 60°C ва сарфи $G_1= 2$ кг/с. Совуқ сувнинг киришдаги ҳарорати 10°C ва сарфи $G_2= 0,75$ кг/с. Иссиқлик бериш коэффициентлари $\alpha_1=2000$ Вт/м²К, $\alpha_2=4000$ Вт/м²К ва деворнинг термик қаршилиги маълум бўлса, $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{100}$ иссиқлик алмашув аппаратининг сирт юзасини аниқланг.

Жавоб : $F = 4,24$ м².

108

Иловалар

1-жадвал

СИ халқаро бирликлар системаси

Катталик	Ўлчов бирлиги	Бирлиكنинг ёзилиши
Асосий бирликлар		
узунлик	метр	м

масса	килограмм	кг
васт	секунд	с
электр токининг кучи	Ампер	А
Келвиннинг термодинамик қарорати	Кельвин	К
модда мисдори	моль	моль
юза	метр квадрат	м ²
қажм	метр куб	м ³
тезлик	секундига метр	м/с
тезланиш	сек.кв.га метр	м/с ²
зичлик	метр кубга килограмм	кг/м ³
куч	Ньютон	Н
босим	Паскаль	Па
иш, энергия, иссислик мисдори	Жоуль	Ж
сувват, иссислик осими	Ватт	Вт
солиштирма иссислик сиёими	килограмм Кельвинга Жоуль	Ж/кгК
энтальпия	килограммга Жоуль	Ж/кг
иссислик осими зичлиги	метр квадратга Ватт	Вт/м ²
иссислик ўтказувчанлик коэффициенти	метр Кельвинга Ватт	Вт/(м·К)
иссислик бериш коэффициенти	метр квадрат Кельвинга Ватт	Вт/(м ² ·К)
нурланиш коэффициенти	метр Кельвин 4 даражасига Ватт	Вт/(м ² ·К ⁴)

2-жадвал

Энергия	1 ккал=4,187 кЖ
Куч	1 кгс=9,81 Н
Солиштирма оғирлик	1 кг/см ³ =9,81 Н/м ³
Зичлик	1 кг·с ² /м ⁴ =9,81 кг/м ³
Босим	1 кг/см ² =0,981·10 ⁵ Па
Динамик совушсослик коэффициенти	1 кг·с/м ² =9,81 Па·с
Иссислик сиғими	1 ккал/(кг·°C)=4,187 кЖ/(кг·°C)
Энтальпия	1 ккал/кг=4,187кЖ/кг
Иссислик осими	1 ккал/соат=1,163 Вт
Иссислик осими зичлиги	1 ккал/(м ² ·соат)=1,163 Вт/м ²
Иссислик осими қажмий зичлиги	1 ккал/(м ³ ·соат)=1,163 Вт/м ³
Иссислик ўтказувчанлик коэффициенти	1 ккал/(м·соат·°C)=1,163 Вт/м·°C
Иссислик бериш коэффициенти	1 ккал/(м ² ·соат·°C)=1,163 Вт/м ² ·°C
нурланиш коэффициенти	1 ккал/(м ² ·соат·К ⁴) =1,163 Вт/(м ² ·К ⁴)

3-жадвал

Муқим газларнинг ва молекуляр масса, зичлик ва
нормал шароитда киломоль қажмлари ва газ
доимийлари

Модда	Кимёвий ёзилиши	молекуляр масса, μ	Зичлик ρ , кг/м ³	киломоль қажмлари μ_v , м ³ /кг	Газ доимийси Ж/(кг·К)
Қаво	-	28,96	1,239	22,40	287,0
Кислород	O ₂	32,00	1,429	22,39	259,8
Азот	N ₂	28,026	1,251	22,40	296,8
Атмосфера			110		

азоти	N ₂	28,16	(1,257)	(22,40)	(295,3)
Гелий	He	4,003	0,179	22,42	2078,0
Аргон	Ar	39,994	1,783	22,39	208,2
Водород	H ₂	2,016	0,090	22,43	4124,0
Углерод оксида	CO	28,01	1,250	22,40	296,8
Углерод- (IV)-оксид	CO ₂	44,01	1,977	22,26	188,9
олтинггурт- (IV)-оксид	SO ₂	64,06	2,926	21,89	129,8
Метан	CH ₄	16,032	0,717	22,39	518,8
Этилен	C ₂ H ₄	28,052	1,251	22,41	296,6
Кокс гази	-	11,50	0,515	22,33	721,0
Аммиак	NH ₃	17,032	0,771	22,08	488,3
Сув буғи	H ₂ O	18,016	(0,804)	(22,40)	(461)

4-жадвал

Кислороднинг иссиқлик сиғими

Қаро- рат	Моляр иссиқлик сиғими, Ж/(кмоль·К)				Массавий иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К)		Қажмий иссиқлик сиғими, Ж/(м³·К)	
t, °C	μ _{ср}	μ _{сv}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{с'рm}	μ _{с'vm}
0	29,274	20,959	29,274	20,959	0,9148	0,6548	1,3059	0,9349
100	29,877	21,562	29,538	21,223	0,9232	0,6632	1,3176	0,9466
200	30,815	22,500	29,931	21,616	0,9353	0,6753	1,3352	0,9642
300	31,832	23,517	30,400	22,085	0,9500	0,6900	1,3561	0,9852
400	32,758	24,443	30,878	22,563	0,9651	0,7051	1,3775	1,0065
500	33,549	25,234	31,334	23,019	0,9793	0,7193	1,3980	1,0270
600	34,202	25,887	31,761	23,446	0,9927	0,7327	1,4168	1,0459
700	34,746	26,431	32,150	23,835	0,0048	0,7448	1,4344	1,0634
800	35,203	26,888	32,502	24,187	1,0157	0,7557	1,4499	1,0789
900	35,584	27,269	32,825	24,510	0,0258	0,7658	1,4645	1,0936
1000	35,914	27,599	33,118	24,803	1,0350	0,7750	1,4775	1,1066
1100	36,216	27,901	33,386	25,071	1,0434	0,7834	1,4892	1,1183
1200	36,488	28,173	33,633	25,318	1,0509	0,7913	1,5005	1,1296
1300	36,752	28,437	33,863	25,548	1,0580	0,7984	1,5106	1,1396
1400	36,999	28,684	34,076	25,761	1,0647	0,8051	1,5202	1,1493
1500	37,242	28,927	34,282	25,967	1,0714	0,8114	1,5294	1,1585

1600	37,480	29,165	34,474	26,159	1,0773	0,8173	1,5378	1,1669
1700	37,715	29,400	34,658	26,343	1,0831	0,8231	1,5462	1,1752

5-жадвал

Азотнинг иссислик сиџими

Қарорат	Моляр иссислик сиџими, Ж/(кмоль·К)				Массавий иссислик сиџими, Ж/(кг·К)		Қажмий иссислик сиџими, Ж/(м³·К)	
	μ_{Cp}	μ_{Cv}	μ_{Cpm}	μ_{Cvm}	μ_{Cpm}	μ_{Cvm}	$\mu_{C'pm}$	$\mu_{C'vm}$
t, °C								
0	29,115	20,800	29,115	20,800	1,0392	0,7423	1,2987	0,9278
100	29,199	20,884	29,144	20,829	1,0404	0,7427	1,3004	0,9295
200	29,471	21,156	29,228	20,913	1,0434	0,7465	1,3038	0,9328
300	29,952	21,637	29,383	21,068	1,0488	0,7519	1,3109	0,9399
400	30,576	22,261	29,601	21,286	1,0567	0,7599	1,3205	0,9496
500	31,250	22,935	29,864	21,549	1,0660	0,7691	1,3322	0,9613
600	31,920	23,605	30,149	21,834	1,0760	0,7792	1,3452	0,9743
700	32,540	24,225	30,451	22,136	1,0869	0,7900	1,3586	0,9877
800	33,101	24,786	30,748	22,433	1,0974	0,8005	1,3716	1,0006
900	33,599	25,284	31,037	22,722	1,1078	0,8110	1,3845	1,0136
1000	34,039	25,724	31,313	22,998	1,1179	0,8210	1,3971	1,0178
1100	34,424	26,109	31,577	23,262	1,1271	0,8302	1,4089	1,0379
1200	34,773	26,448	31,828	23,513	1,1359	0,8395	1,4202	1,0492
1300	35,070	26,745	32,067	23,752	1,1447	0,8478	1,4306	1,0597
1400	35,330	27,005	32,293	23,978	1,1526	0,8558	1,4407	1,0697
1500	35,556	27,231	32,502	24,187	1,1602	0,8633	1,4499	1,0789
1600	35,757	27,432	32,699	24,384	1,1673	0,8704	1,4587	1,0877
1700	35,937	27,612	32,883	24,568	1,1736	0,8771	1,4671	1,0961

6-жадвал

Углерод-(II)-оксиднинг иссислик сиџими

Каро- рат	Моляр иссислик сиџими, Ж/(кмоль·К)				Массавий иссислик сиџими, Ж/(кг·К)		Кажмий иссислик сиџими, Ж/(м³·К)	
t, °C	μ _{ср}	μ _{сv}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{с'рm}	μ _{с'vm}
0	35,860	27,545	35,860	27,545	0,8148	0,6259	1,5998	1,2288
100	40,206	31,891	38,112	29,797	0,8658	0,6770	1,7003	1,3293
200	43,689	35,374	40,059	31,744	0,9102	0,7214	1,7373	1,4164
300	46,515	38,200	41,755	33,440	0,9487	0,7599	1,8627	1,4918
400	48,860	40,515	43,250	34,935	0,9826	0,7938	1,9297	1,5587
500	50,825	42,500	44,573	36,258	1,0128	0,8240	1,9887	1,6178
600	52,452	44,137	45,753	37,438	1,03	0,8508	2,0411	1,6701
700	53,826	45,511	46,813	38,498	1,0639	0,8746	2,0884	1,7174
800	54,977	46,662	47,763	39,448	1,0852	0,8964	2,1311	1,7601
900	55,952	47,637	48,617	40,302	1,1045	0,9157	2,1692	1,7982
1000	56,773	48,458	49,392	41,077	1,1225	0,9332	2,2035	1,8326
1100	57,472	49,157	50,099	41,784	1,1384	0,9496	2,2349	1,8640
1200	58,071	49,756	50,740	42,425	1,1530	0,9638	2,2638	1,8929
1300	58,586	50,271	51,322	43,007	1,1660	0,9772	2,2898	1,9188
1400	59,030	50,715	51,858	43,543	1,1782	0,9893	2,3136	1,9427
1500	59,411	51,096	52,348	44,033	1,1895	1,0006	2,3354	1,9644
1600	59,737	51,422	52,800	44,485	1,1995	1,0107	2,3555	1,9845
1700	60,022	51,707	53,218	44,903	1,2091	1,0203	2,3743	2,0034

7-жадвал

Сув буџининг иссислик сиџими

Каро- рат	Моляр иссислик сиџими, Ж/(кмоль·К)				Массавий иссислик сиџими, Ж/(кг·К)		Кажмий иссислик сиџими, Ж/(м³·К)	
t, °C	μ _{ср}	μ _{сv}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{срm}	μ _{сvm}	μ _{с'рm}	μ _{с'vm}
0	33,499	25,184	33,499	25,184	1,8594	1,3980	1,4943	1,1237
100	34,055	25,740	33,741	25,426	1,8728	1,4114	1,5052	1,1342
200	34,964	26,649	34,118	25,803	1,8937	1,4323	1,5223	1,1514
300	36,036	27,721	34,575	26,260	1,9192	1,4574	1,5424	1,1715
400	37,191	28,876	35,090	26,775	1,9477	1,4863	1,5654	1,1945
500	38,406	30,091	35,630	27,315	1,9778	1,5160	1,5897	1,2188
600	39,662	31,347	36,195	27,880	2,0092	1,5474	1,6148	1,2439
700	40,951	32,636	36,789	28,474	2,0419	1,5805	1,6412	1,2703

800	42,249	33,934	37,392	29,077	2,0754	1,6140	1,6680	1,2971
900	43,513	35,198	38,008	29,693	2,1097	1,6483	1,6957	1,3247
1000	44,723	36,408	38,619	30,304	2,1436	1,6823	1,7229	1,3519
1100	45,858	37,543	39,226	30,911	2,1771	1,7158	1,7501	1,3791
1200	46,913	38,598	39,825	31,510	2,2106	1,7488	1,7769	1,4059
1300	47,897	39,582	40,407	32,092	2,2429	1,7815	1,8028	1,4319
1400	48,801	40,486	40,976	32,661	2,2743	1,8129	1,8280	1,4570
1500	49,639	41,324	41,525	33,210	2,3048	1,8434	1,8527	1,4817
1600	50,409	42,094	42,056	33,741	2,3346	1,8728	1,8761	1,5052
1700	51,133	42,818	42,576	34,261	2,3630	1,9016	1,8996	1,5286

8-жадвал

Қавонинг иссиқлик сиғими

Қарорат	Моляр иссиқлик сиғими, Ж/(кмоль·К)				Массавий иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К)		Қажмий иссиқлик сиғими, Ж/(м³·К)	
t, °C	μ_{Cp}	μ_{Cv}	μ_{Cpm}	μ_{Cvm}	μ_{Cpm}	μ_{Cvm}	$\mu_{C'pm}$	$\mu_{C'vm}$
0	29,073	20,758	29,073	20,758	1,0036	0,7164	1,2971	0,9261
100	29,266	20,951	29,152	20,758	1,0061	0,7193	1,3004	0,9295
200	29,676	21,361	29,299	20,984	1,0115	0,7243	1,3071	0,9362
300	30,266	21,951	29,521	21,206	1,0191	0,7319	1,3172	0,9462
400	30,949	22,634	29,789	21,474	1,0283	0,7415	1,3289	0,9579
500	31,640	23,325	30,095	21,780	1,0387	0,7519	1,3427	0,9718
600	32,301	23,986	30,405	22,090	1,0496	0,7624	1,3565	0,9856
700	32,900	24,585	30,723	22,408	1,0605	0,7733	1,3708	0,9998
800	33,432	25,117	31,028	22,713	1,0710	0,7842	1,3842	1,0312
900	33,905	25,590	31,321	23,006	1,0815	0,7942	1,3976	1,0262
1000	34,315	26,00	31,598	23,283	1,0907	0,8039	1,4097	1,0387
1100	34,679	26,394	31,862	23,547	1,0999	0,8127	1,4214	1,0505
1200	35,002	26,687	32,109	23,794	1,1082	0,8215	1,4327	1,0618
1300	35,291	26,976	32,343	24,028	1,1166	0,8294	1,4432	1,0722

1400	35,546	27,231	32,565	24,250	1,1242	0,8369	1,4528	1,0819
1500	35,772	27,457	32,774	24,259	1,1313	0,8441	1,4620	1,0911
1600	35,977	27,662	32,967	24,652	1,1380	0,8508	1,4708	1,0999
1700	36,170	27,855	33,151	24,836	1,1443	0,8570	1,4788	1,1078

9-жадвал

Сурус буғининг физик хоссалари ($B=760$ мм
сим.уст $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Па)

t , $^{\circ}\text{C}$	ρ , кг/м^3	c , $\text{кЖ/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$	λ , $\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$	$\alpha \cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6$, $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6$, $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,63	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	26,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
23,90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,682

10-жадвал

Тўйиниш чизиғидаги сувнинг физик хоссалари

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$h, \text{кЖ/кг}$	$C_p, \text{кЖ/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^{-4}, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^{-4}, \text{Н/м}$	Pr
0	1,013	999,9	0,00	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	13,06	1,306	+0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,2	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	335,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,70	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,20	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88

Тўйиниш чизиғидаги сув буғининг физик хоссалари

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho'', \text{кг/м}^3$	$h'', \text{кЖ/кг}$	$r, \text{кЖ/кг}$	$C_p, \text{кЖ/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
100	1,013	0,598	2675,9	2256,8	2,135	2,372	18,58	11,97	20,02	1,08
110	1,43	0,826	2691,4	2230,8	2,177	2,489	13,83	12,46	15,07	1,09

120	1,98	1,121	2706,5	2230,0	2,206	2,593	10,50	12,85	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2720,7	2202,8	2,257	2,686	7,972	13,24	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2734,1	2174,3	2,315	2,791	6,130	13,54	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2746,7	2145,0	2,395	2,884	4,728	13,93	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2758,0	2114,4	2,479	3,012	3,722	14,32	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2768,0	2082,6	2,583	3,128	2,939	14,72	3,57	1,21
180	10,03	5,157	2778,5	2049,5	2,709	3,268	2,339	15,11	2,93	1,25
190	12,55	6,394	2786,4	2015,2	2,856	3,419	1,872	15,60	2,44	1,30
200	15,55	7,862	2793,1	1978,8	3,023	3,547	1,492	15,99	2,03	1,36
210	19,08	9,588	2798,2	1940,7	3,199	3,722	1,214	16,38	1,71	1,41
220	23,20	11,62	2801,5	1900,5	3,408	3,896	0,983	16,87	1,45	1,47
230	27,98	13,99	2803,2	1857,8	3,634	4,094	0,806	17,36	1,24	1,54
240	33,48	16,76	2803,2	1813,0	3,881	4,291	0,658	17,76	1,06	1,61

12-жадвал

Трансформатор ёғининг қароратга боғлиқ физик хоссалари

t, °C	ρ , кг/м³	c_p , кЖ/(кг·°C)	λ , Вт/м·°C	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м²/с	$\alpha \cdot 10^6$, м²/с	$\beta \cdot 10^4$, K⁻¹	Pr
0,0	892,5	1,549	0,1123	629,8	70,5	8,14	6,80	846
10	886,4	1,620	0,1115	335,5	37,9	7,83	6,85	484
20	880,3	1,666	0,1106	198,2	22,5	7,56	6,90	298
30	874,2	1,729	0,1008	128,5	14,7	7,28	6,95	202
40	868,2	1,788	0,1090	89,4	10,3	7,03	7,00	146
50	862,1	1,846	0,1082	65,3	7,58	6,80	7,05	111
60	856,0	1,905	0,1072	49,5	5,78	6,58	7,10	87,8
70	850,0	1,964	0,1064	38,6	4,54	6,36	7,15	71,3
80	843,9	2,026	0,1056	30,8	3,66	6,17	7,20	59,3
90	837,8	2,085	0,1047	25,4	3,03	6,00	7,25	50,5
100	831,8	2,144	0,1038	21,3	2,56	5,83	7,30	43,9
110	825,7	2,202	0,1030	18,1	2,20	5,67	7,35	38,8
120	819,6	2,261	0,1022	15,7	1,92	5,50	7,40	34,9

13-жадвал

МС-20 ёғининг қароратга боғлиқ физик хоссалари

t, °C	ρ , кг/м³	c_p , кЖ/(кг·°C)	λ , Вт/м·°C	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м²/с	$\alpha \cdot 10^6$, м²/с	$\beta \cdot 10^4$, K⁻¹	Pr
-10	990,3	1,951	0,136	-	-	7,75	6,24	-
0	903,6	1,980	0,135	-	-	7,58	6,24	-
+10	897,9	2,010	0,135	-	-	7,44	6,31	-

20	892,3	2,043	0,134	10026	1125	7,30	6,35	15400
30	886,6	2,072	0,132	4670	526	7,19	6,38	7310
40	881,0	2,106	0,131	2433	276	7,08	6,42	3890
50	875,3	2,135	0,130	1334	153	7,00	6,46	2180
60	869,6	2,165	0,129	798,5	91,9	6,86	6,51	1340
70	864,0	2,198	0,128	498,3	58,4	6,75	6,55	865
80	858,3	2,227	0,127	336,5	39,2	6,67	6,60	588
90	852,7	2,261	0,126	234,4	27,5	6,56	6,64	420
100	847,0	2,290	0,126	171,7	20,3	6,44	6,69	315
110	841,3	2,320	0,124	132,4	15,7	6,36	6,73	247
120	835,7	2,353	0,23	101,0	12,1	6,25	6,77	193
130	830,0	2,382	0,122	79,76	9,61	6,17	6,82	156
140	824,4	2,420	0,121	61,80	7,50	6,08	6,87	123
150	818,7	2,445	0,120	53,17	6,50	6,00	6,92	108

14-жадвал

МК ёғининг қароратга боғлиқ физик хоссалари

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кЖ/(кг·°C)	λ , Вт/м·°C	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, K ⁻¹	Pr
10	911,0	1,645	0,1510	35414	3883	9,94	8,56	39000
20	903,0	1,712	0,1485	18560	1514	9,58	8,64	15800
30	894,5	1,758	0,1461	6180	691,2	9,28	8,71	7450
40	887,5	1,804	0,1437	3031	342,0	8,97	8,79	3810
50	879,0	1,851	0,1413	1638	186,2	8,69	8,86	2140
60	871,5	1,897	0,1389	961,4	110,6	8,39	8,95	1320
70	864,0	1,943	0,1363	603,3	69,3	8,14	9,03	858
80	856,0	1,989	0,1340	399,3	46,6	7,89	9,12	591
90	848,2	2,035	0,1314	273,7	32,3	7,61	9,20	424
100	840,7	2,081	0,1290	202,1	24,0	7,33	9,28	327
110	838,0	2,127	0,1264	145,2	17,4	7,11	9,37	245
120	825,0	2,173	0,1240	110,4	13,4	6,92	9,46	193,5
130	817,0	2,219	0,1214	87,31	10,7	6,69	9,54	160,0
140	809,2	2,265	0,1188	70,34	8,70	6,53	9,65	133,3
150	801,6	2,311	0,1168	56,90	7,10	6,25	9,73	113,5

АДАБИЁТЛАР

117

1. Зокидов Р.А., Аvezов Р.Р., Вардияшвили А.Б., Алимова М.М. Иссислик техникасининг назарий асослари. Ё.сўл., 1- сисм, Тошкент, ТДТУ, 2005.

2. Баскаков А.П. Теплотехника. М.: Энергоатомиздат, 1999.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: – Энергия, 1981.
4. Андрианова Т.Н. и др. Сборник задач по технической термодинамике. М.: МЭИ, 2000 .
5. Краснощеков К.А., Сукомел А.С. Сборник задач по теплопередаче. М.: Энергия, 1991.
6. http://dhes.ime.mrsu.ru/studies/tot/tot_lit.htm
7. http://rbip.bookchamber.ru/description.aspx?product_no=854

Муқаррир М.М.Ботирбекова

МУНДАРИЖА

I боб	Қолат параметрлари	3
II боб	Идеал газ қолат тенгламаси	8
III боб	Газлар аралашмаси	12
IV боб	Газларнинг иссиқлик сиғими	18
V боб	Термодинамиканинг I сонун	23
VI боб	Термодинамика жараёнларининг тақлили	26
	Жараёнларни текширишдаги асосий тушунчалар	26
	Изохор жараён	27
	Изобар жараён	31
	Изотермик жараён	35
	Адиабатик жараён	38
	Политропик жараён	40
VII боб	Термодинамиканинг II сонун	46
	Асосий тушунчалар	46
	Карно цикли ва унинг фойдали иш коэффициенти	48
VIII боб	Сув буғи ва унинг хоссалари	53
IX боб	Буғ турбина сурилмалари	58
	Оралиш сиздириш	60
	Буғ турбина сурилмаларида сувни регенератив иситиш	61
X боб	Иссиқлик машиналари	63
	Иссиқлик двигателлари назарий цикллари	63
	термодинамик тақлили	63
	Қажм ўзгармас бўлганда иссиқлик келтирувчи цикл	64
	Босим ўзгармас бўлганда иссиқлик келтирувчи цикл	67
	Аралаш қолда иссиқлик келтирувчи цикл	69
XI боб	Газ турбина сурилмаларининг цикллари	75
	Газ турбина сурилмалари	75
	Босим ўзгармас жараёндаги иссиқлик келтирувчи газ турбина сурилмасининг цикли	75

	Қажм ўзгармас жараёндаги иссиқлик келтирувчи газ турбина сурилмасининг цикли
XII боб	Иссиқлик ўтказувчанлик Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги Учинчи тартибли теъара шартидаги иссиқлик ўтказувчанлик Конвектив иссиқлик алмашинуви Нурланиш усулида иссиқлик узатилиши
XIII боб	Иссиқлик алмашинув аппаратлари Иловалар Адабиётлар Мундарижа

78

84

84

89

120

92

97

103

109

118

119