



**Коммерциялық емес
акционерлік
қоғам**

**АЛМАТЫ
ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ
БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

**Жылу энергетикасы
қондырғылар
кафедрасы**

ЖЫЛУТЕХНИКА НЕГІЗДЕРІ

5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептік-сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2016

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: М.Е.Тұманов., Б.Т.Бахтияр. 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептік-сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар. – Алматы: АЭЖБУ, 2016. – 21 б.

Әдістемелік нұсқаулықтарда есеп беруді рәсімдеу бойынша тәртіптер, пәннің барлық негізгі бөлімдерін қамтитын есептік жұмыстарының сипаттамалары келтірілген.

Берілген нұсқаулықта жылумаңызалмасудың негізгі ұғымдары мен әдісі, ұсынылған әдебиеттер тізімі келтірілген.

Есептік-сызба жұмысының әдістемелік нұсқаулығы 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандықтары студенттері үшін арналған.

Сур. 4, кесте. 9, әдеб.- 8 атау.

Пікір беруші: техн.ғыл. канд., доцент С.К.Абильдинова

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2015 жылғы жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2016 ж.

Мазмұны

1 Есептік - сызба жұмыс № 1.....	4
2 Есептік - сызба жұмыс № 2.....	10
3 Есептік - сызба жұмыс № 3.....	14
1 қосымшасы.....	18
2 қосымшасы.....	19
Әдебиеттер тізімі.....	20

1 Есептік-сызба жұмыс №1

1-тапсырма. Идеал газдың жылу ыстықтыққа байланысты сыйымдылығын есептей отырып мыналарды анықтау керек: газ көрсеткіштің бастапқы және соңғы күйлерін, ішкі энергияның өзгеруін, жылуды және жұмыс ұлғаюын. Есепті шешу үшін мәндерді 1.1-ші кестеден аламыз, ыстықтыққа байланысты жылу сыйымдылық 1-ші қосымшада берілген.

1.1 кесте

Шифр-дың соңғы саны	Айналым	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	Шифрдағы соңғы санның алдыңғы саны	Газ	$P_1, \text{МПа}$	$m, \text{кг}$
0	Изохоралық	2400	400	0	O_2	1	2
1	Изобаралық	2200	300	1	N_2	4	5
2	Адиабаталық	2000	300	2	H_2	2	10
3	Изохоралық	1800	500	3	N_2	3	4
4	Изобаралық	1600	400	4	CO	5	6
5	Адиабаталық	1700	100	5	CO_2	6	8
6	Изохоралық	1900	200	6	N_2	8	3
7	Изобаралық	2100	500	7	H_2	10	12
8	Адиабаталық	2300	300	8	O_2	12	7
9	Изохоралық	1500	100	9	CO	7	9

2-тапсырма. ГТШ-дың теориялық мәні үшін тұрақты қысымдағы жұмыс пен (ауаның) айналым нүктелеріндегі термиялық п.э.е жұмысын, егер бастапқы қысым $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, бастапқы ыстықтық $t_1 = 27, ^\circ\text{C}$, нығыздағыштағы қысым жоғарылауының сатысы π , шығыр алдындағы газ ыстықтығы t_3 .

1.2 кесте

Шифр-дың соңғы саны	$\pi = \frac{P_2}{P_1}$	Шифр-дағы соңғы санның алдыңғы саны	$t_1, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	Шифр-дың соңғы саны	$\pi = \frac{P_2}{P_1}$	Шифр-дағы соңғы санның алдыңғы саны	$t_1, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$
0	6	0	700	35	5	7,5	5	725	60
1	6,5	1	725	25	6	7	6	750	70
2	7	2	750	30	7	6,5	7	775	80
3	7,5	3	775	40	8	6	8	800	90
4	8	4	700	50	9	7	9	825	100

Берілген ауа шығынының G ГТШ теориялық қуатын анықтау қажет. p_v - және T_s -диаграммаларында қондырғы айналымының сұлбесін сызу керек. Есепті шешу үшін 1.2-ші кестеден берілгендерді алыңыз. Ауаның жылу сыйымдылығы ыстықтыққа байланысты алынбайды.

1.1 Есептік-сызба жұмыс №1 әдістемелік нұсқау

Бақылау жұмысын шығару үшін берілген курсты толық меңгеріп және есептерді шешу оқу құралдарын қолдана отырып жүзеге асырылады.

Студенттер бақылау жұмысын «Техникалық термодинамика» және «Жылу маңыз алмасу теориялары» бойынша орындайды.

Бақылау жұмыстарын орындау үшін келесі шарттарды сақтау қажет:

а) берілген тапсырмаларды және есеп шарттарын жазу керек;

б) есепті шешкен кезде қысқаша түсініктеме жазу керек, қандай кейіптемемен анықталып жатқанын, кейіптеменің орнына мәндерінің қайдан алынатынын (анықтама кітаптардың қолданылғаны, мәндерінің шешілуін және т.б.);

в) өлшем бірліктер СИ белгісімен алынады, есептің шешілу жолдарын толығымен көрсету керек. Есептің шешілуінен кейін қысқаша түсініктеме қорытынды келтіру керек. Әрқашанда шешілген жауап сандарға зер салып, бақылау жасау қажет.

1.2 Жылу маңыз алмасудың негізгі ұғымдары мен әдісі

Өмірде қозғалыс пен өзаралық әрекетке тән қайраттың жылу мен жұмыс арқылы түрленуі табиғат пен қондырғы және аспаптарда кең таралған. Қайрат түрленгенде жылу мен маңыз (масса) және қозғалыстық (серпін, импульс) таралады. Қайраттың түрленуі жылу қозғалымда, қозғалыстықтың таралуы СГ механикасында, жылу мен маңыздың таралуы (алмасуы) ЖМА-да қаралады.

Жылудың таралу тетіктері: жылу өткізгіштік пен ағынды жылу беру (бұлардан жылу өту құралады) және сәулелену. Жылу тәсіл негіздерінің (ЖТН – ТОТ) кеңінен таралған ілімі – феномендік (ерекшелік) теория. Мұнда құбылыстар затшалық аса негізделмей, жалпы қабылданған терең ұғымдарға сүйенеді. Оның бірі тұтастық ұғымы. Егер затшалардың еркін жүрісінің орташа ұзындығы ℓ_0 дененің мөлшері ℓ -ден өте аз, яғни Кнудсен сынамаcы (саны) $Kn = \ell_0/\ell (\sim 10^{-3}) \ll 1$ болса, денені тұтас деуге болады. Тек $Kn \sim 1$ болса, орта - сиретілген газға, ал $Kn > 10$ болса, орта - затшалық ағынға айналады.

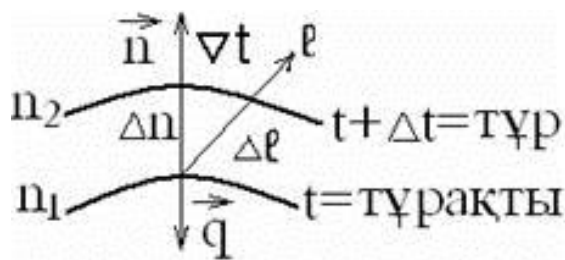
Жылу қайратын (жылуын, количество тепла) Q_t [Дж], ал жылу ағынын (тепловой поток [2], жылулықты (теплота)) $Q = Q_t/\tau$ [Дж/с = Вт] және $Q_t/(F \cdot \tau) = Q/F = q$ [Вт/м²] - жылу ағынының (жылулықтың) беттік тығыздығы дейміз.

ЖМА-ның қолданбалық негізгі мақсаты – қуаты Q берілген қондырғы жобаланғанда, оның қажетті жылу алмасу F бетін анықтау, ал тексерулікте (F белгілі) Q -ді анықтау болады. Мұндағы $Q = \varphi \Delta t F$, $\varphi = \lambda/\delta$ – қалыңдығы δ

дененің жылу өткізгіштік меншікті еселеуіші ($\Delta t = t_1 - t_2$), $\varphi = \alpha$ – жылу беру еселеуіші ($\Delta t = t_6 - t_c$), $\varphi = k$ – жылу өту еселеуіші ($\Delta t = t_{c1} - t_{c2}$), Вт/(м²К), $t_{i=1,2}$, t_6, t_c – дене беттері мен сұйықтың ыстықтықтары, °С; F – жылу алмасу беті [м²], τ – уақыт [с]. Ал сәулелену жылулығы E дененің толық ыстықтығының $\sim T^4$.

1.3 Жылу өткізгіштік. Ыстықтық өріс пен тікмегзем

Ыстықтық тегеуріні (айырымы) $\Delta t \neq 0$, яғни ыстықтық $t = f(x, y, z, \tau)$ өрісі болса, жылу ағыны пайда болады. Ыстықтық өріс $\partial t / \partial t \neq 0$ -де қалыптаспаған, ал $\partial t / \partial t = 0$ -де қалыптасқан тәртіпте болады.



1.1 сурет

Ыстықтық тұрақтылықтарына тік (\vec{n}) бағыттағы ыстықтықтың мекендік өзгерісінің шек мәнін ыстықтық тікмегземі дейміз. Ыстықтық тікмегзем

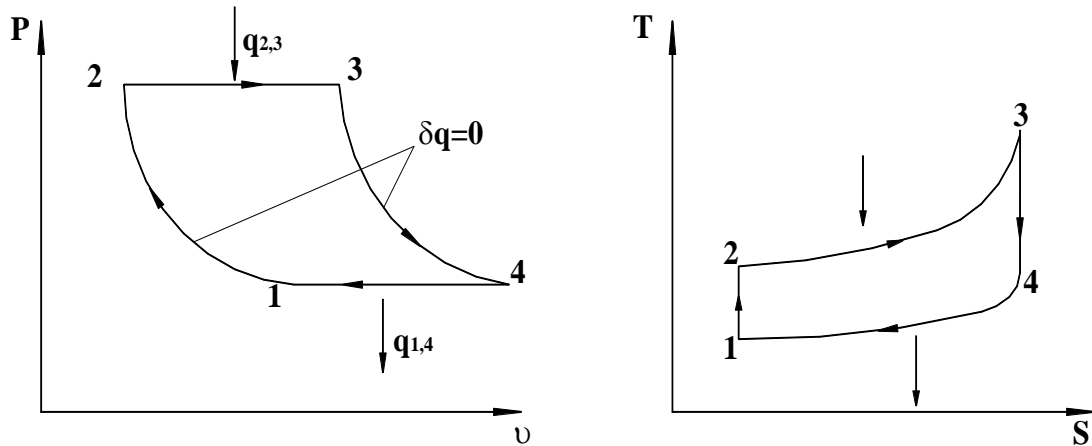
$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \frac{\Delta t}{\Delta n} \vec{n}_0 = \frac{\partial t}{\partial n} \vec{n}_0 = \mathbf{grad} t = \nabla t, \frac{K}{m}$$

Декарт мекендігіндегі құраушылары арқылы келесідей жазылады (1.1 сурет)

$$\frac{\partial t}{\partial n} n_{0\varphi} = \mathbf{grad} t \cdot \vec{n}_0 = \frac{\partial t}{\partial n} \cos(\hat{n}, \varphi) = \frac{\partial t}{\partial \varphi},$$

$$\vec{n}_{0\varphi} (\varphi = x, y, z), \nabla t = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}.$$

«Техникалық термодинамика» бөлімі бойынша есепті шешуге мысал. (P, V, t) көрсеткіштерн ГТҚ айналмасындағы нүктелерінде қарапайым сұлбеде мына берілгендермен анықтау қажет: бастапқы қысымы $P_1=0,1$ МПа; бастапқы ыстықтығы $t_1=27^\circ\text{C}$; нығыздағыш сатыдағы қысым $\pi=7$; шығыр алдындағы газдың ыстықтығы $t_3=700^\circ\text{C}$. Әрбір айналымдағы жұмыс үшін анықтау қажет, жылудың келген кеткен санын, ішкі энергияның өзгеруін, қажыр және энтропия. ГТҚ-ның ауа шығынындағы $G=35$ кг/с, теориялық қуатын термиялық п.э.е әрбір айналымға анықтау қажет. Жұмыс — 1 кг ауаға ($R=0,287$ кДж/(кг·К); $C_p=1,004$ кДж/(кг·К); $C_v = C_p - R = 0,717$ кДж/(кг·К)). P-V және T-S координаттарында сызбақ тұрғызу керек.



1.2 сурет - ГТҚ айналымы P-V және T-S координаттарында
(1-ші есеп үшін)

Шешімі:

1) Соңғы айналма нүктелеріндегі жағдайдың көрсеткіштерін анықтау қажет. 1-ші нүкте $V_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 300}{0,1 \cdot 10^6} = 0,861 \text{ м}^3/\text{кг}$.

2-ші нүкте $P_2 = \pi P_1 = 7 \cdot 0,1 \text{ МПа}$, 1-2 айналымы— адиабаталық, сондықтан

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,861 \cdot \left(\frac{0,1}{0,7} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 0,215 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

$$P_2 V_2 = RT_2 \rightarrow T_2 = \frac{P_2 V_2}{R} = \frac{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,215}{287} = 523 \text{ К}.$$

2-ші нүкте 2-3 изобаралық,

$P_2 = P_3 = 0,7 \text{ МПа}$;

$T_3 = (700 + 273) = 973 \text{ К}$ есеп бойынша.

$$V_3 = \frac{RT_3}{P_3} = \frac{287 \cdot 973}{0,7 \cdot 10^6} = 0,399 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

3-ші нүкте 4-1 изобаралық, яғни $P_4 = P_1 = 0,1 \text{ МПа}$. 3-4 адиабаталық, сондықтан V_4 адиабаталық теңдеу үшін анықтау:

$$V_4 = V_3 \left(\frac{P_3}{P_4} \right)^{\frac{1}{k}} = 0,399 \left(\frac{0,7}{0,1} \right)^{\frac{1}{1,4}} = 1,6 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$T_4 = \frac{P_4 V_4}{R} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{287} = 558 \text{ К}.$$

2) Жұмысты анықтау қажет, жылу санын, ішкі энергияның өзгеруін, әрбір айналма үшін қажыр мен энтропия айналасын анықтау қажет.

1-2 (адиабаталық қысымға $q_{1,2}=0$).

Термодинамикалық жұмыс

$$l_{1,2} = \frac{R}{K-1} (T_1 - T_2) = \frac{0,287}{1,4-1} (300 - 523) = -160 \text{ кДж/кг.}$$

Потенциалдық жұмыс

$$w_{1,2} = \frac{\kappa R (T_1 - T_2)}{\kappa - 1} = -223,89 \text{ кДж/кг}$$

Ішкі энергияның өзгеруі

$$\Delta U_{1,2} = C_{vm} (T_2 - T_1) = 0,717 (523 - 300) = 160 \text{ кДж/кг}; \Delta U_{1,2} = -l_{1,2}.$$

Ішкі энергияның өзгеруі $\Delta S_{1,2} = 0$.

Қажырдың өзгеруі $\Delta h_{1,2} = -w_{1,2} = 223,89 \text{ кДж/кг.}$

2-Зайналымы (изобаралық $P_2 = P_3$).

$$l_{2,3} = R (T_3 - T_2) = 0,287 (973 - 523) = 129 \text{ кДж/кг};$$

$$w_{2,3} = 0;$$

$$\Delta U_{2,3} = C_{vm} (T_3 - T_2) = 0,717 (973 - 523) = 323 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{2,3} = C_{pm} (T_3 - T_2) = 1,004 (973 - 523) = 452 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta S_{2,3} = C_{pm} \ln \frac{T_3}{T_2} = 1,004 \ln \frac{973}{523} = 0,623 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta h_{2,3} = q_{2,3} = 452 \text{ кДж/кг.}$$

4-3 айналымы (адиабаталық ұлғаю).

$$q_{3,4} = 0; \Delta S_{3,4} = 0;$$

$$l_{3,4} = \frac{R}{K-1} (T_3 - T_4) = \frac{0,287}{0,4} (973 - 558) = 298 \text{ кДж/кг};$$

$$l_{3,4} = -\Delta U_{3,4} = -298,0 \text{ кДж/кг};$$

$$w_{3,4} = \frac{KR (T_3 - T_4)}{K-1} = \frac{1,4 \cdot 0,287 (973 - 558)}{0,4} = 416,86 \text{ кДж/кг.}$$

4-1 айналымы (изобаралық $P = \text{idem}$).

$$w_{4,1} = 0;$$

$$l_{4,1} = R (T_1 - T_4) = 0,287 (300 - 558) = -74,05 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta U_{4,1} = C_{vm} (T_1 - T_4) = 0,717 (300 - 558) = -185 \text{ кДж/кг};$$

$$q_{4,1} = C_{pm} (T_1 - T_4) = 1,004 (300 - 558) = -259 \text{ кДж/кг};$$

$$\Delta S_{4,1} = C_{pm} \ln \frac{T_1}{T_4} = 1,004 \ln \frac{300}{558} = -0,623 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)};$$

$$\Delta h_{4,1} = q_{4,1} = -259 \text{ кДж/кг.}$$

Берілген айналым бойынша шешімдерін кестеге енгіземіз.
Айналу шарттары былай орындалады:

$$\sum_{i=1}^n l_i = \sum_{i=1}^n w_i = \sum_{i=1}^n q_i; \quad \sum_{i=1}^n \Delta S_i = \sum_{i=1}^n \Delta U_i = \sum_{i=1}^n \Delta h_i = 0.$$

Термодинамикалық жұмыс қосындысы

$$\sum_{i=1}^n l_i = l_{1,2} + l_{2,3} + l_{3,4} + l_{4,1} = 193 \text{ кДж/кг.}$$

1.3 кесте - Берілген айналым бойынша шешімдерінің кестесі

Айналымдар	l (кДж/кг)	w (кДж/кг)	Δh (кДж/кг)	ΔU (кДж/кг)	q (кДж/кг)	ΔS (кДж/(кг·К))
1-2	-160	-223,9	223,9	160	0	0
2-3	129	0	452	323	452	0,623
3-4	298	416,9	-416,9	-298	0	0
4-1	-74,05	0	-259	-185	-259	-0,623
Σ	193	193	0	0	193	0

$$\sum_{i=1}^n l_i = \sum_{i=1}^n w_i = \sum_{i=1}^n q_i = 193 \text{ кДж/кг.}$$

Айналымдағы жылудың пайдалы жұмысқа айналуы

$$q_{\text{ц}} = q_{2,3} - |q_{4,1}| = 452 - 259 = 193 .$$

Термиялық п.э.е

$$\eta_t = 1 - \frac{|q_{4,1}|}{q_{2,3}} = 1 - \frac{259}{452} = 0,42; \quad \eta_t = 42\%.$$

3) *P-V* және *T-S* айналымы.

P-V және *T-S* айналымындағы мәндерін кем дегенде үш нүктеде тұрғызу керек. Аралық нүктелерін тұрғызу үшін қандай да бір көрсеткіштерінің сандық мәндерінің аралығы алыну қажет.

Келесі көрсеткіш кез келген бір нүктенің аралық мәні мен соңғы нүктесі бойынша анықталады. Анықталған мәндер бойынша *P-V* және *T-S* айналымы

тұрғызылады. Масштабы анықталған көрсеткіштер бойынша көлденеңінен алынады.

1.4 Жылу өткізгіштік еселеуіші

Жылу (Q_τ , Дж) ағынының (Q , Вт) жергілікті тығыздығының (q , Вт/м²) ыстықтық тікмегземге сәйкестігі - Фурье заңы (дәлелденуі [12])

$$\frac{\partial^2 Q_\tau}{\partial F \partial \tau} = \frac{dQ}{dF} = q,$$

$$\vec{q} = -\lambda \nabla t.$$

Жылулық тығыздығының қарқыны жылу өткізгіштік еселеуішімен келесідей анықталады

$$\lambda = \left| \frac{\vec{q}}{\nabla t} \right|, \quad \frac{\text{Вт/м}^2}{\text{К/м}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}.$$

Жылу өткізгіштік еселеуішінің мәні дененің табиғаты мен құрылысына және күйіне байланысты. Ол газдарда Броун қозғалысымен (0,025 (ауа, түтін) ÷ 0,06) анықталады, диэлектрик пен құрылыстықтар және сұйықтарда бөлшектерінің серпімділік тербелістерімен өзгереді (0,04 ÷ 0,8), металдарда электрондардың елгезектіктеріне байланысты жоғары болады (4,9 (сынап) ÷ 458 (күміс) Вт/(м·К)).

Жылу өткізгіштік еселеуіші көп жағдайларда тек ыстықтыққа сәл тәуелді

$$\lambda = \lambda_0(1 + bt)$$

2 Есептік-сызба жұмыс №2

1-тапсырма. Дизель айналымы бойынша жұмыс істейтін поршенді қозғалтқышқа термодинамикалық есептеу жүргізу керек, егер газдың меншікті көлемі v_1 ; сығылу сатысы $\varepsilon = v_1/v_2$; сығылудың бастапқы ыстықтығы t_1 ; айналымда жүргізілген жылу саны бойынша q_1 . Соңғы нүктедегі көрсеткіштерді анықтау керек. Қажыры (h), ішкі энергия (U) газға қатысты $T_0 = 0$ К, энтропия (S) $T_0 = 273$ К бойынша, $P = 0,1$ МПа. p - v - және T - s -координаттары бойынша айналым тұрғызылады. Әрбір айналым берілген және алынған жылу үшін жұмыс анықталады, ішкі энергия, қажыры және энтропияны анықтау керек. Термиялық ПӘЕ жұмыс айналымы бойынша анықталады. Жұмыс денесі-ауа, салмағы 1 кг. $R = 0,287$ кДж/кг·К; $C_p = 1$ кДж/кг·К. Есепті шешуге қажетті мәндер 2.1-ші кестеден алынады.

2.1 кесте

Шифрдың соңғы саны	$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$	Шифрдағы соңғы санның алдыңғы саны	Бастапқы сығылу ыстықтығы, $t_1, ^\circ\text{C}$	$q_1, \text{кДж/кг}$
0	14	0	25	900
1	15	1	20	800
2	20	2	15	500
3	18	3	30	600
4	16	4	40	400
5	15	5	35	850
6	14	6	50	700
7	16	7	30	450
8	18	8	28	550
9	20	9	45	600

2-тапсырма. Политропты бастапқы P_1, t_1 көрсеткіштері бойынша газдың соңғы ұлғаю жағдайы анықталады, политропты көрсеткіш берілген (n), соңғы қысымы P_2 . $p\nu$ - және Ts -координаттарында айналымы көрсетілу керек. Есепті шешуге қажетті мәндер 2.2-ші кестеден алынады.

2.2 кесте

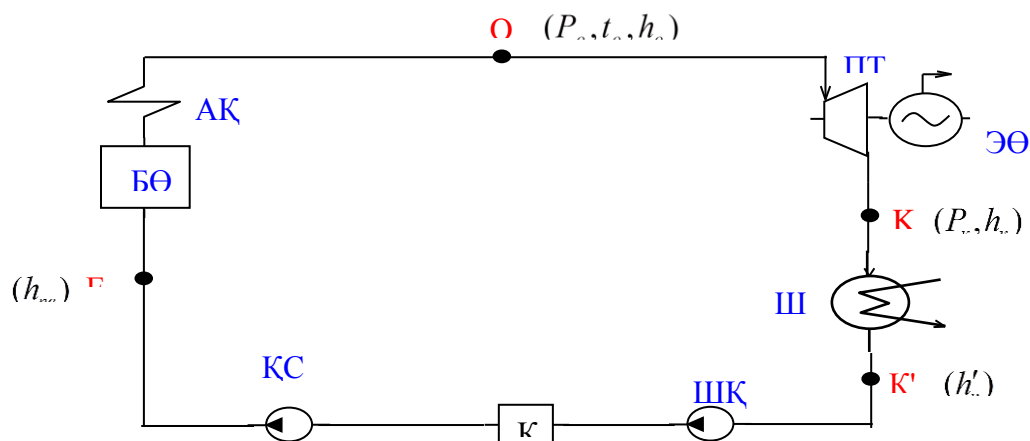
Шифрдың соңғы саны	$P_1, \text{МПа}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$P_2, \text{МПа}$	n	Шифрдағы соңғы санның алдыңғы саны	Газ	$m, \text{кг}$
0	0,5	100	0,1	1,2	0	O_2	1
1	1	70	0,5	1,5	1	N_2	2
2	1,5	110	1,0	1,4	2	CO	3
3	2	120	1,5	1,1	3	N_2	4
4	2,5	80	0,5	1,3	4	H_2	5
5	3	90	1,2	1,2	5	O_2	6
6	3,5	130	1,5	1,4	6	CO_2	8
7	4	150	0,2	1,6	7	O_2	2
8	5	200	2	1,2	8	CO	5
9	6	250	3,5	1,5	9	N_2	3

2.1 Есептік-сызба жұмыс №2 әдістемелік нұсқау

Букүштілік қондырғының (БКҚ) жұмыс істеу қағидасына негізделіп, бу турбиналы электр стансаға жататын болғандықтан әртүрлі жылу электр стансаларының жылуқозғалымдық жұмыс істеу қағидасы өзгермейді. Ренкин айналымы бойынша жұмыс істейтін (аса қызған бумен) БКҚ – ның қағидалы сызбасы 2.1 суретінде көрсетілген [4].

Шықтатқыштың БКҚ – дағы орны ерекше. Жылуқозғалымның екінші заңы бойынша айналу құбылысын жүзеге асыру үшін әртүрлі

температурадағы екі жылу көзі болу керек, олар: жылу қабылдағыш және жылу бергіш. Жылу қабылдағыштың қызметін бу өндіргіш атқарады да, ондағы жылу жұмыстық денеге беріледі, ал жылу бергіш қызметін шықтатқыш атқарып, ондағы жұмыстық дене қоршаған ортаға жылуды береді (салқындатылған суға). Сондықтан шықтатқыш (немесе оның орнын басатын жүйе) букүштілік қондырғының негізгі бөлігі болып саналады.

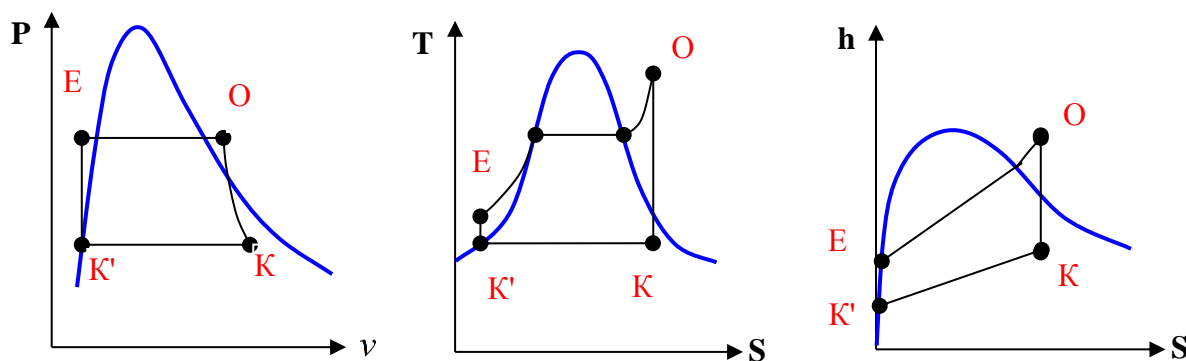


БӨ – буөндіргіш, АҚ – аса қыздырғыш, ПТ – бу турбинысы,
 ЭӨ – электр өндіргіш, Ш – шықтатқыш,
 ШС және ҚС – шықтатқыш және қорек сорғылары, ҚҚ – қыздырғыш.

2.1 сурет – Бу қайратты құрылғының сызбасы

Шықтатқыш турбинадан шығатын будың қысымын атмосфералық қысымнан төменгі қысымға дейін төмендетеді. Шықтатқыштағы терең вакуум будың (жұмыстық дене) шықтануынан яғни оның циркуляцияланған судан салқындатылуынан болады. Қаныққан бу мен шықтатқыштың температурасы салқындатқыш судың температурасына байланысты болып, 10-12 градусқа жоғарылайды.

Ренкин айналымы бойынша жұмыс істейтін БКҚ – дағы құбылыстар келесі $P-V$, $T-S$, $h-S$ диаграммаларында көрсетілген (2.2 сурет).



2.2 сурет - Ренкин айналымы

2.2- суреттің диаграммаларында:

1) «ЕО» сызығы қызған судың изобаралық құбылысын сипаттап, оның бу өндіргіш пен буды аса қыздырғыштағы қызуы мен булануын көрсетеді.

2) «ОК» сызығы турбинадағы будың адиабатты (изоэнтропиялық) ұлғаюын көрсетеді.

3) «КК» сызығы турбина мен шықтатқыштағы пайдаланған будың салқындауын изобаралық құбылыста (және сонымен қатар изотермиялық) көрсетеді.

4) «ЕК» сызығы сорғыдағы судың қысымының жоғарылауын адиабатты құбылысы.

5) Ренкин айналымы бойынша жұмыс істейтін БКҚ- ның жылулық үнемділігі термиялық пайдалы әсер коэффициентімен (ПӘК) сипатталады. Ренкин айналымының пайдалы әсер коэффициенті басқа да айналу құбылысының пайдалы әсер коэффициенті сияқты келесі формуламен анықталады:

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

мұнда l_u – айналымның пайдалы жұмысы;

q_1, q_2 – айналымға берілген және алынған жылу мөлшері.

Бу өндіргіштегі жұмыстық денеге жылу $P_0 = const$ кезінде беріліп, $P_k = const$ кезінде алынады. Жылуқозғалымның бірінші заңы бойынша изобаралық құбылыс кезіндегі құбылысқа қатысатын жылу мөлшері бастапқы және соңғы қажырдың айырымына тең (2.2-суретіндегі h - S диаграммасы):

$$q_2 = h_k - h'_k,$$

$$q_1 = h_o - h_e = h_o - h'_k.$$

Егер сорғылардың жұмысын ескерсек, онда жылуқозғалымның бірінші заңы бойынша механикалық энергия (жұмыс) жылу энергиясына ауысады:

$$l_n = h_{nv} - h'_k.$$

Онда, келесіні аламыз :

$$\eta_t = \frac{(h_o - h'_k) - (h_k - h'_k)}{h_o - h'_k} = \frac{h_o - h_k}{h_o - h'_k},$$

мұндағы $h_o - h_k$ – турбинадағы будың ұлғаю құбылысы кезіндегі теориялық (адиабаттық) жылу құламасы;

$h_o - h'_k$ - бу өндіргіштегі жұмыстық денеге берілген жылу.

Формулалар анализі БКҚ–ның жылулық үнемділігін арттыру жолдарын анықтауға мүмкіндік береді:

а) q_2 -нің тұрақтандырылған мәні кезінде берілген q_1 жылу мөлшерін арттыру;

б) q_1 -нің тұрақтандырылған мәні кезінде алынған q_2 жылу мөлшерін азайту;

в) бір мезгілде берілген жылу мөлшерін q_1 жоғарылатып, q_2 алынған жылу мөлшерін төмендету.

Осы кезде q_2 -нолге тең бола алмайтындығын ескеру қажет, әйтпесе ол термодинамиканың II заңына қайшылық туғызады. Екі адиабатадан және екі изотермиядан тұратын Карно айналымында айналу құбылыстарының түрленуіне негізделген [5], айналу құбылыстарының карнотизация тәсілін келесі анализді жеңілдету үшін пайдаланады.

3 Есептік-сызба жұмыс №3

1-тапсырма. δ_1 ($\lambda_1 = 40$ Вт/м·К) бір жағы газбен жуылады; осы жағдайда жылу беру еселеуішіне α_1 тең. Бір жағынан қабырға сыртқы ауадан оқшауланған ол жердегі пластина қалыңдығы δ_2 ($\lambda_2 = 0,40$ Вт/м·К). Пластинадан ауаға жылу беру α_2 . Жану ыстықтығын t_2 , ауа - t_a . Жылу ағыны q_1 Вт/м² мен ыстықтық t_1, t_2 және t_3 қабырға сырты анықталады.

3.1 кесте

Шифрдың соңғы саны	δ_1 , мм	α_1 , Вт/м ² ·К	t_1 , °С	Шифрдағы соңғы санның алдыңғы саны	δ_2 , мм	α_2 , Вт/м ² ·К	t_b , °С
0	5	35	350	0	10	5	30
1	6	45	400	1	12	6	25
2	7	40	370	2	14	7	20
3	8	30	350	3	16	8	15
4	9	35	330	4	18	9	10
5	10	25	300	5	20	10	5
6	6	42	380	6	22	9	0
7	5	30	320	7	24	8	-5
8	3	34	400	8	26	6	-10
9	4	38	280	9	28	5	-20

2-тапсырма. Болат құбырдың қосөресі $d_1/d_2 = \frac{100\text{мм}}{110\text{мм}}$ жылу өткізу еселеуішімен λ_1 екі қабатты бірдей қалыңдықпен оқшауланған қалыңдығы $\delta_2 = \delta_3 = 50 \text{ мм.}$, бірінші қабаттың жылу өткізу еселеуіші λ_2 , ал екіншісінікі λ_3 .

3.2 кесте

Шифрдың соңғы саны	λ_1 , Вт/м·К	λ_2 , Вт/м·К	λ_3 , Вт/м·К	Шифрдағы соңғы санның алдыңғы саны	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$
0	50	0,06	0,12	0	250	50
1	30	0,03	0,06	1	300	100
2	40	0,08	0,16	2	400	200
3	60	0,10	0,20	3	350	150
4	45	0,04	0,14	4	500	120
5	20	0,01	0,15	5	450	90
6	50	0,05	0,12	6	380	60
7	40	0,02	0,08	7	280	50
8	45	0,06	0,10	8	550	20
9	35	0,04	0,15	9	200	70

1 м құбырдың оқшаулану арқылы жылу шығынын ішкі ыстықтығы бойынша t_1 , ал сыртқы оқшаулаудың ыстықтығын t_4 анықтау керек. t_3 ыстықтығының қосылған қабатындағы ыстықтығы анықталады. Егер құбырдың оқшаулау қабаты бойынша орындарын ауыстырсақ 1 м құбырдың жылу шығынының үлкен еселеуіш қабатымен қалай өзгереді? Мәндері 3.2-ші кестеден таңдалады.

3.1 Есептік-сызба жұмыс №3 әдістемелік нұсқау

Көп жағдайларда $\bar{\lambda} = \lambda =$ тұрақты не жылу өткізгіштіктің ыстықтық тәуелділігі, сызықты болады. Соңғысында t_1 мен t_2 ыстықтық аралығындағы дененің жылу өткізгіштік еселеуіші - мәні λ_1 мен λ_2 -нің арифметикалық орташа мәні. Дегенмен, аумақшылық орташа мәні қалай есептелетінін көрейік

$$\begin{aligned} \bar{\lambda} &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda_0 (1 + bt) dt = \\ &= \lambda_0 \left[1 + b \left(\frac{t_2 + t_1}{2} \right) \right] = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}. \end{aligned}$$

Өртүрлі денелердің жылу өткізгіштік жылулығын анықтау

Бұл үшін $Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2)F$ қуат теңдеуіне $R = \frac{\delta}{F}$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_1 - t_2)F$$

деп, геометриялық кедергілердің кейіптемелерін ескерейік:

а) тақташаға

$$R_\delta = \frac{\delta}{F}, Q = \frac{\bar{\lambda}}{\delta} (t_1 - t_2)F, q = \frac{\bar{\lambda}}{\delta} (t_1 - t_2) \frac{Bm}{M^2};$$

б) сырыққа

$$R_\delta = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}, Q = \frac{\bar{\lambda}(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}}, Bm,$$

- жылу ағынының сызықтық тығыздығы

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{2\pi \bar{\lambda}(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \frac{Bm}{m};$$

- жылу ағынының беттік тығыздығы

$$q_{j=1,2} = \frac{Q_j}{F_j} = \frac{Q}{\pi d_j l} = \frac{\bar{\lambda}(t_1 - t_2)}{\frac{d_j}{2} \ln \frac{d_2}{d_1}}, \frac{Bm}{m^2}$$

бұлардың теңестігі

$$Q = q_1 l = q_1 \pi d_1 l = q_2 \pi d_2 l, \quad Bm,$$

$$q_1 = q_1 \pi d_1 = q_2 \pi d_2, \quad q_2 / q_1 = d_1 / d_2,$$

3) Күмбездік қабатқа

$$q_{j=1,2} = \frac{Q}{\pi d_j^2} = \frac{2\bar{\lambda}(t_1 - t_2)}{d_j^2 \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)}, \frac{Bm}{m^2}.$$

4) Беттері тегіс емес және $F_2 > 2F_1$ қабаттардың жылу ағындары қаралған теңдеулер арқылы жуық анықталады. Ал $F_2 \leq 2F_1$ болса, келесі теңдеулер пайдаланылады

$$Q = \frac{\bar{\lambda}}{\delta} (t_1 - t_2) \frac{F_1 + F_2}{2}, q = \frac{Q}{F} = \frac{\bar{\lambda}}{\delta} (t_1 - t_2).$$

Соңғы теңдеу бойынша әртүрлі денелердің орташа бет аудандары ескеріле, жылу ағынының беттік тығыздықтары өзара бірдей.

3.2 Тұрақты жылу өткізгіштікті денелердің қалыптасқан ыстықтық өрісін анықтау

Қаралған аумаққылардың жоғарғы шектерін өзгермелі етіп және $\lambda =$ тұрақты деп, денелердің ыстықтық өрісін келесідей анықтайық

$$Q \int_0^{R_n} dR_n = -\lambda \int_{t_1}^t dt, Q R_n = \lambda (t_1 - t), t(n) = t_1 - \frac{Q}{\lambda} R_n(n).$$

Мұндағы $R_n(n) = (n - n_1)/F(n)$ – қалыңдығы $n - n_1$ қабаттың жылулық кедергісінің өзгермелі геометриялық мәні;

$dR_n = dn/F(n)$ – қалыңдығы dn қабаттың жылулық кедергісінің математикалық аз геометриялық мәні.

Егер жылу ағынының теңдеуін ескерсек

$$t = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{R_n}{R_\delta}.$$

1 қосымшасы

Орташа мольдік изобаралық жылу сыйымдылығы

t, °C	Аауа	O ₂ қышқы- лы	Азот N ₂	H ₂ сутегі	H ₂ O су буы	СО көміртегі	СО ₂ көмірқыш- қылы
0	29,073	29,274	29,115	28,617	33,499	29,123	35,860
100	29,153	29,538	29,144	29,935	33,741	29,178	38,112
200	29,299	29,931	29,228	29,073	34,188	29,303	40,059
300	29,521	30,400	29,383	29,123	34,575	29,517	41,755
400	29,789	30,878	29,601	29,186	35,090	29,789	43,250
500	30,095	31,334	29,864	29,249	35,630	30,099	44,573
600	30,405	31,761	30,149	29,316	36,195	30,426	45,758
700	30,723	32,150	30,451	29,408	36,789	30,752	46,813
800	31,028	32,502	30,748	29,517	37,392	31,070	47,763
900	31,321	32,825	31,037	29,647	38,008	31,376	48,617
1000	31,598	33,118	31,313	29,789	38,619	31,665	49,392
1200	32,109	33,633	31,828	30,107	39,825	32,192	50,740
1400	32,565	34,076	32,293	30,467	40,976	32,653	51,858
1600	32,967	34,474	32,699	30,832	42,056	33,051	52,800
1800	33,319	34,834	33,055	31,192	43,070	33,402	53,604
2000	33,641	35,169	33,373	31,548	43,995	33,708	54,290
2200	33,296	35,483	33,658	31,891	44,853	33,980	54,881
2400	34,185	35,785	33,909	32,222	45,645	34,223	55,391

2 қосымшасы

Құрғақ ауаның қысымы 101,3 кПа болғандағы физикалық көрсеткіштері

$t, ^\circ\text{C}$	$10^2 \cdot \lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$10^6 \cdot \nu, \text{м}^2/\text{с}$	P_2
0	2,44	13,28	0,707
100	3,21	23,13	0,688
200	3,94	34,85	0,680
300	4,60	48,33	0,674
400	5,21	63,09	0,678
500	5,75	79,38	0,687
600	6,23	96,89	0,699
700	6,71	115,4	0,706
800	7,19	134,8	0,713
900	7,64	155,1	0,717
1000	8,08	177,1	0,719

Әдебиеттер тізімі

- 1 Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.: Энергоиздат, 2006.
- 2 Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача.- М.: Высшая школа, 2005.
- 3 Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. и др. Теплотехника: Учебник для вузов. -М.: Высшая школа. 2006.
- 4 Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. - М.: Высшая школа. 2005.
- 5 Исаченко В.М., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 2006.
- 6 Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 2005.
- 7 Сб. задач по технической термодинамике/Андрианова Т.А., Дзампов Б.В. и др.- М., 2007.
- 8 Краснощеков Е.А., Сукомел а.С. Задачник по теплопередаче.- М., 2005.

Мұсақұл Елегенұлы Тұманов
Балжан Төрешашқызы Бахтияр

,

ЖЫЛУТЕХНИКА НЕГІЗДЕРІ

5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін есептік-сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Қ.С. Телғожаева
Стандарттау бойынша маман Н.К. Молдабекова

Басуға _____ қол қойылды
Таралымы 50 дана
Көлемі 1,0 есептік-баспа табақ

Пішімі 60x84 1/16
Баспаханалық қағаз № 1.
Тапсырыс Бағасы 500 тенге

«Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшіру-көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126