Коммерциялық емес акционерлік қоғам

ҒҰМАРБЕК ДӘУКЕЕВ АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Жылу энергетикалық қондырғылар кафедрасы

ЖЫЛУТЕХНИКАСЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

5В081200 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттері үшін есепті-сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Алматы 2019

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: В.О.Байбекова, А.С.Расмухаметова. Жылутехникасының теориялық негіздері. 5В081200 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттері үшін есепті-сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар. – Алматы: Ғұмарбек Дәукеев атындағы АЭжБУ КеАҚ, 2019. – 36 б.

Әдістемелік нұсқау «Жылутехникасының теориялық негіздері» курсы бойынша есептік сызба жұмыстарды орындаудың тапсырма нұсқалары мен шешу жолдарынан және курс бағдарламаларынан тұрады.

Әдістемелік нұсқаулар 5В081200 – «Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету» мамандықтарының барлық оқу түрлерінің студенттеріне арналған.

Без. 10, әдеб.көрсеткіші.- 7 атау.

Пікір беруші: доцент, доктор phD С.К. Абильдинова

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2019ж.негізгі баспа жоспары бойынша басылады.

© «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2019ж.

Мазмұны

Кіріспе.....4
№1 есепті-сызба жұмыс. Су және су буындағы жылуқозғалымдық құбылыстар.....5
№2 есепті-сызба жұмыс. Жылуөткізгіштік пен жылуөту.....11
№3 есепті-сызба жұмыс. Жылу электр станцияларының тиімділігі.....17
А қосымшасы - Құрғақ ауаның физикалық қасиеттері.....30
Б қосымшасы – Судың қанығу күйіндегі физикалық қасиеттері.....31
В қосымшасы - Су буының қанығу күйіндегі физикалық қасиеттері 32
Г қосымшасы - Түтіннің физикалық қасиеттері.....33
Әдебиеттер тізімі.....34

Кіріспе

«Жылутехника негіздері» (ЖТН) жылуэнергикалық саланы өзіндік іске қосу (автоматтандыру) және басқару мамандығының таңдаулы арнайы пәндерінің бірі. «Техника» грекше өнер, шеберлік, майталмандық ұғымын береді. Сондықтан біз Жылутехниканы жылутәсілдік деп те атаймыз.

«Тәсілдік жылуқозғалым» (ТЖҚ, техникалық термодинамика) мен «Сұйық және газ механикасы» және «Жылумаңызалмасу» (ЖМА) пәндері «Жылутәсілдік теория негіздері» деп аталады. Бұлар «Сұйық пен газ және плазма механикасы» мен «Жылуфизика. Жылутәсілдік теория негіздері» деп те ғылыми жіктелген. Бұл пәндердің аттарымен ғылыми дәрежелер мен кафедралар және институттар (Мысалы, «Институт тепломассообмена (ТМО) имени академика А.В.Лыкова» Минскде, «Всероссийский теплотехнический институт (ВТИ)» Москвада) аталған. Бұл пәндердің заңдары мен заңдылықтары арқылы жаңа қондырғылар мен аспаптар және тәсілдемеліктер жасалады. Сондықтан олар көптеген арнайы пәндердің негізіне жатады.

Бұл пәндердің табиғи терең және бір-бірімен байланысты қаптаған өте күрделі құбылыстарын игеру қиын жұмыс. Бұлардың негізін ұғып, игеру үшін студент зерттеу және есепті-сызба жұмыстарын (ЕСЖ), пәндік жобаларды өздігінен жасап, дәрістерді тыңдап, емтиханға дайындалады.

Сондықтан студенттер оқу кестесі бойынша мүлтіксіз сабақтарда болып, ЕСЖ жетекшілерінен сұрақтарына түсінік алып, өзіндік жұмыстарын уақытында істеп, қорғап отыруы тиімді болады.

Студенттер ЖТН-нан дәрістерде болып, зерттеу жұмыстарын жасап, келесі ЕСЖ-ларды орындап, қорғағаннан кейін емтихандық бақылау (тест) мен емтиханға бара алады.

№1 есепті-сызба жұмыс. Су және су буындағы жылуқозғалымдық құбылыстар (4÷6 апталарда).

№2 есепті-сызба жұмыс. Жылуөткізгіштік пен жылуөту (8÷10 апталарда).

№3 есепті-сызба жұмыс. Жылу электр станцияларының тиімділігі (12÷14 апталарда).

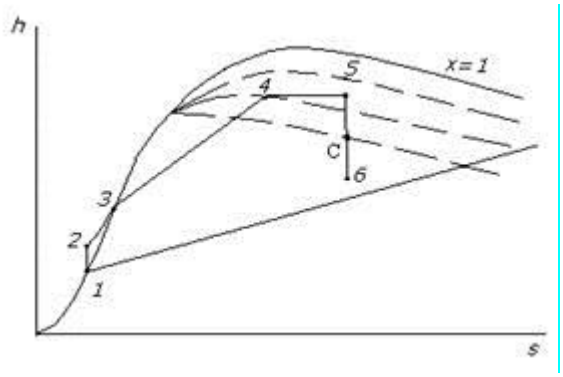
Әрбір ЕСЖ 4÷5-тапсырма есептерден құрастырылды. Бұларда ЖТН-ның ілімдік негіздері мен жылуэнергиялық қондырғылары мен аспаптарының және жылутәсілдемеліктердің жылулық есептік әдістеріне көңіл бөлінді. Олар арнайы пәндер, пәндік және бітіру жұмыстарымен жалғасады.

Әрбір есептің түрлемі студенттің оқу тобының нөмірі m мен тобының төрағасы журналындағы ата-тегі нөмірі n арқылы анықталады. Олардың нақты жағдайларға сәйкесті m = n = 0 түрлемі үлгі ретінде шығарылып, танымалдық және болашақтық маңызды бақылау сұрақтары келтірілді.

Әрбір ЕСЖ-ның аяғында қысқаша қорытынды мен арнайы (мысалы, бақылау) сұрақтар келтірілуі тиіс. ЕСЖ-лар қорғалғанда оларға ерекше көңіл бөлінеді.

1 №1 есепті-сызба жұмыс. Су және су буындағы жылуқозғалымдық құбылыстар

Судың жағдайы қанығу қысымы p_1, бар кезінде болады. Судың қысымы p_2, бар кезінде сорғы көмегімен құрғақтық дәрежесі x_4 дейін изобаралық қыздырылатын бу генерторына жіберіледі, содан кейін x_5 құрғақтық дәрежеге дейін кедергіге ұшырайды (дросселируется). Бу ары қарай тарылғыш саптамаларға (суживающееся сопло) бағытталады. Саптамадан кейінгі бу күйі p_6, бар қысымымен сипатталады (1.1 суретті қара). Барлық құбылыстарды қайтымды деп қабылдау қажет [2].



1.1 сурет – құбылыстың h, s–диаграммасы

1.1 Жұмыстың тапсырмасы

Ары қарай «Су және су буының термодинамикалық қасиеттерінің кестесін» пайдалана отырып, 1,2,3,4,5,6 күйлерінің калориялық және термиялық көрсеткіштерін табу, 4 – 5 құбылысындағы интегралды дроссель-эффектісін анықтау, саптама қимасындағы бу көрсеткіштерін, келтірілген су және бу жылуын, саптамадан шығар бу жылдамдығын анықтау.

1.2 Жұмысқа әдістемелік көрсеткіштер

1.2.1 Негізгі есептік қатынастар.

Кестенің мәндері су және су буының калориялық қаситеттерінің p,v,T тәжірибелік − зерттеу нәтижесінде алынған көрсеткіштік мәндері болып табылады. Кестеде аргумент ретінде температура және қысымның жуықтаған мәндері қолданылған. Бұл мәндердің аралығындағы мәндерді табу үшін сызықты интерполяция әдісін пайдаланған жөн [2].

Судың негізгі үштік нүктедегі көрсеткіштері: $p_{тр}$ = 610,8 Па, $T_{тр}$ = 273,16 К, $v_{тр}$ = 1,0002 см^3/г, критикалық көрсеткіштері: $p_{кр}$ = 22,115 МПа, $t_{кр}$ = 374,12 °С, $v_{кр}$ = 0,003147 м^3/кг.

Үштік нүктедегі меншікті ішкі энергия және энтропия мәндері нөлге тең деп қабылданады. Үштік нүктедегі қажыры $h_{тр}$ = 0,611 Дж/кг, критикалық нүктеде $h_{кр}$ = 2095,2 кДж/кг, $s_{кр}$ = 4,4237 кДж/кг·К

1.1 кесте – 1 жұмысқа тапсырма нұсқалары

Тапсырма нұсқалары					p_1, бар	x_4	x_5	p_6, бар
Сынақ кітапшасының соңғы үш санының қосындысы	Фамилияның бастапқы әрібі							
	А-Д	Е-М	Н-Ф	Х-Я				
	p_2, бар	p_2, бар	p_2, бар	p_2, бар				
0	50	51	64	72	0,015	0,90	0,93	0,90
1	47	53	66	74	0,017	0,91	0,94	1,00
2	44	55	68	76	0,019	0,92	0,95	0,80
3	41	57	70	80	0,021	0,93	0,96	0,70
4	38	60	72	50	0,023	0,90	0,93	0,60
5	36	62	74	47	0,025	0,91	0,94	0,50
6	34	64	76	44	0,027	0,92	0,95	0,40
7	32	66	80	41	0,030	0,93	0,96	0,30
8	33	68	50	38	0,032	0,90	0,93	0,40
9	37	70	47	36	0,035	0,91	0,94	0,50
10	40	72	44	34	0,037	0,92	0,95	0,60
11	43	74	41	32	0,039	0,93	0,96	0,70
12	46	76	38	33	0,042	0,90	0,93	0,80
13	48	80	36	37	0,045	0,91	0,94	0,90
14	51	50	34	40	0,050	0,92	0,95	1,00
15	53	47	32	43	0,052	0,93	0,96	0,30
16	55	44	33	46	0,054	0,90	0,93	0,35
17	57	41	37	48	0,057	0,91	0,94	0,40
18	60	38	40	51	0,060	0,92	0,95	0,45
19	62	36	43	53	0,050	0,93	0,96	0,50
20	64	34	46	55	0,040	0,90	0,93	0,55
21	66	32	48	57	0,035	0,91	0,94	0,60
22	68	33	51	60	0,030	0,92	0,95	0,65
23	70	37	53	62	0,025	0,93	0,96	0,70
24	72	40	55	64	0,020	0,90	0,93	0,75
25	74	43	57	66	0,015	0,91	0,94	0,80
26	76	46	60	68	0,018	0,92	0,95	0,85
27	80	48	62	70	0,022	0,93	0,96	0,90

Ылғалды бу аймағындағы көрсеткіштер құрғақтық дәрежесі x бойынша анықталады:

$$\nu_x = \nu'(1-x) + \nu'' x,$$

$$h_x = h'(1-x) + h''x,$$

$$u_x = u'(1-x) + u''x,$$

$$s_x = s'(1-x) + s''x. \qquad (1.1)$$

Адиабаттық дросселдеу кезінде h = const. Интегралды тиімді-дроссельдеу келесі формуламен анықталады:

$$T_2 - T_1 = \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_h dp \qquad (1.2)$$

Будағы дыбыс жылдамдығы Лаплас теңдеуі бойынша анықталады:

$$a = \sqrt{(\partial p / \partial s)_s} = \sqrt{-\nu^2 (\partial p / \partial \nu)_s}. \qquad (1.3)$$

Саптамадан шығардағы бу ағысы кезіндегі үйкеліссіз жылдамдығы келесі қатынаспен анықталады

$$w_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2) + w_1^2}. \qquad (1.4)$$

Кептіргіш саптамадан шығар будың максимал жылдамдығы:

$$w_2^{\max} \le a. \qquad (1.5)$$

Сондықтан саптамадағы пайдаланылған жылуқұламасы құрайды:

$$\Delta h = \frac{a^2 - w_1^2}{2}, \qquad (1.6)$$

мұндағы a-дыбыстың жергілікті жылдамдығы.

1.2.2 Мысал: 0 нұсқасының шешімі.

Тапсырма шарты: берілген су және бу көрсеткіштері p_1=0,015бар, p_2 = 50бар, x_4 = 0,90, x_5 = 0,93, p_6 = 0,90бар.

Анықтау: кесте көмегімен 1,2,3,4,5,6 (1.1 сурет) нүктелеріндегі көрсеткіштерді анықтау, $T_5 - T_4$, $q_{1\text{-}4}$, w_2, көрсеткіштері саптама қимасындағы бу көрсеткіштері [2].

Шешуі: 2 кесте бойынша p_1 = 0,015 бар=$1{,}5 \cdot 10^3$ Па кезіндегі t_1 =13,034^{0}С,

v_1 = 0,0010006 м^3/кг, h_1 = 54,71 кДж/кг, s_1 = 0,1956 кДж/кг·К, $u_1=h_1-p_1v_1$=54,71 - -1,5·10^3 - 0,0010006 = 54,708 кДж/кг.

2 нүкте (күй) көрсеткіштерін анықтаймыз. p_2 = 50 бар = 5·10^6 Па. Бұл су аймағы болып табылады. 3 кестені пайдаланамыз. $v_2 = v_1$ = 0,0010006 м^3/кг., интерполяция көмегімен h_2 анықталады:

$$h_2 = 88{,}6 + \frac{130{,}2 - 88{,}6}{0{,}0010021 - 0{,}0009995} \cdot (0{,}0010006 - 0{,}0009995) =$$

$$= 88{,}6 + \frac{41{,}6}{0{,}0000026} \cdot 0{,}0000011 = 88{,}6 + 17{,}6 = 106{,}2 кДж/кг,$$

$$t_2 = 20 + (30 - 20) \cdot \frac{17{,}6}{41{,}6} = 20 + (30 - 20) \cdot 0{,}423 = 24{,}23^0 C$$

$$s_2 = 0{,}2952 + (0{,}4350 - 0{,}2952) \cdot 0{,}423 = 0{,}3543 кДж/кг \cdot К$$

3 нүкте (күй) жағдайын p_2 изобара бойынша сол жақ шекаралық қисық сызықта анықтаймыз. $p_3 = p_2$ = 5,0МПа. 2 кестені пайдаланамыз: t_3= 263,92°С, v_3 = 0,0012858 м^3/кг, h_3 = 1154,6 кДж/кг, s_3 = 2,9209 кДж/кг·К.

5,0 МПа изобара бойынша оң жақ шекаралық қисықтағы бу көрсеткіштері: v'' = 0,03941 м^3/кг, h'' = 2792,8 кДж/кг, s'' = 5,9712 кДж/кг·К.
4 нүктеде x_4 = 0,90. Осы жерден (1.1) бойынша

$$t_4 = 263{,}92°С,$$

$$v_4 = 0{,}0012858 \cdot 0{,}10 + 0{,}90 \cdot 0{,}03941 = 0{,}03082 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$h_4 = 1154{,}6 \cdot 0{,}1 + 0{,}9 \cdot 2792{,}8 = 2628{,}98 \text{ кДж/кг},$$

$$s_4 = 2{,}9209 \cdot 0{,}1 + 0{,}9 \cdot 5{,}9712 = 5{,}6662 \text{ кДж/кг·К}.$$

Адиабаттық дросселдеу кезінде h = const, $h_4 = h_5$ = 2628,98 кДж/кг,

x_5 = 0,93. h, s – диаграммасында бойынша су және су буының h = const сызығын жүргізе отырып, қалған көрсеткіштерді анықтаймыз, қиылысқан сызық нүктесі x=0,93құрғақтық дәрежелі 5 нүктесі болып табылады. Диаграмма және кесте бойынша күй көрсеткіштері анықталады:

$$p_5 = 9 \text{ бар},$$

$$v_5 = 0{,}2 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$t_5 = 175{,}36^0С, \; h^I = 742{,}6 \text{ кДж/кг}, \; h^{II} = 2773{,}0 \text{ кДж/кг},$$

$$s_5 = 0{,}07 \cdot 2{,}0941 + 0{,}93 \cdot 6{,}6212 = 6{,}3043 \text{ кДж/кг·К},$$

$$s' = 2{,}0941 \text{ кДж/кг·К},$$

$$s'' = 6{,}6212 \text{ кДж/кг·К}.$$

(1.1) бойынша есептегенде

$$h_5^{\text{есеп.}} = 2630{,}87 \text{ кДж/кг·К}$$

Техникалық есептеу қателігі h_4мәнімен жақсы сәйкес келеді.
Интегралды дроссель-эффектісі

$$t_5 - t_4 = 175.36 - 263.92 = -88.56^{\circ}C$$

Бугенераторына жылу 2-3-4 изобара бойынша жылу әкелінеді

$$q_{2\text{-}4} = h_4 - h_2 = 2628{,}98 - 106{,}2 = 2522{,}78 \text{ кДж/кг},$$

сорғы жұмысы

$$l_c = h_2 - h_1 = 106.2 - 54.71 = 51.49 кДж/кг$$

Ылғалды бу 6 жағдайы *h*, s – диаграммасында изобара p = 0,9 бар және изоэнтропия s = 6,3043 кДж/кг·К қиылысында анықталады. 6 күй жағдайының көрсеткіштері кесте бойынша анықталады. p= 0,9 бар кезінде, s^I =1,2696, s^{II}=7,3963 және

$$x = \frac{s_s - s'}{s'' - s'} = \frac{6.3043 - 1.2696}{7.3963 - 1.2696} = 0.82$$

(1.1) қатынасы бойынша келесі мәндерді анықтаймыз:

$$t_6 = 96{,}71°\text{C},$$

$$h_6 = 405{,}24 \cdot 0{,}18 + 2671{,}1 \cdot 0{,}82 = 2263{,}24 \text{ кДж/кг},$$

$$v_6 = 1{,}5337 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

5-6 изоэнтропа құбылысына екі жағдайды қарастырамыз:

$$v_1 = 0{,}6 \text{ м}^3/\text{кг}, p_1 = 2{,}5 \text{ бар};$$

$$v_2 = 0{,}9 \text{ м}^3/\text{кг}, p_2 = 1{,}6 \text{ бар}.$$

Осы көрсеткіштер бойынша (1.3) дыбыс жылдамдығын анықтаймыз:

$$a = \sqrt{-(0{,}7)^2 \frac{(1{,}6-2{,}5)\cdot 10^5}{0{,}9-0{,}6}} = 383{,}4 м/с.$$

(1.4) бойынша қолданылған жылуқұламасы мынаған тең:

$$\Delta h = \frac{a^2}{2} = 73{,}5 кДж/кг.$$

Саптама қимасындағы бу күйі s және *h* мәндері бойынша анықталады:

$h_c = h_5 - \Delta h = 2628{,}98 - 73{,}5 = 2555{,}48 кДж/кг$, v_c= 0,32 м^3/кг, p_c = =5,6 бар, t_c = 156,16°С.

Барлық күйлерді *h*, s – диаграммасына енгізіп, 1-6 құбылысын тұрғызу қажет. 5-6 изоэнтропия құбылысында с − нүктесі, яғни саптама қимасындағы бу күйі көрсетілуі қажет.

Нәтижесінде тапсырма шешімінің алгоритмдік блок-сұлбасын құрастыру қажет.

Бақылау сұрақтары

1 Құрғақтық дәрежесі деген не?

2 Қайтымды және қайтымсыз құбылыстар деген не?

3 Саптамадан шығар будың жылдамдығы қалай өзгереді?

4 Адиабаттық дросселдеу

5 ТТД ның заңдарының аналитикалық өрнегі мен анықтамалары

2 №2 есепті-сызба жұмыс. Жылуөткізгіштік пен жылуөту

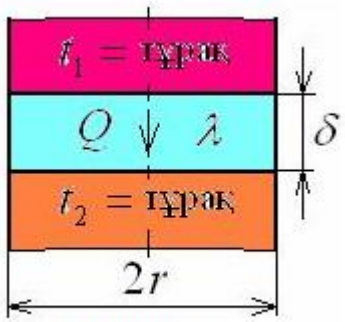
2.1 Денелердің жылуөткізгіштік еселеуішін тікмегзем әдісімен анықтау

Жылуөткізгіштігі анықталатын дене өресі r =10 мм мен қалыңдығы δ = 1 мм-лі сырықты табақшадан жасалған. Ол температуралары t_1 = 120 + m + 0,2n ^{0}С мен t_2 = 20 + m + 0,2n ^{0}С тұрақты, қалыптасқан жылулық ағыны Q = 23,2 Вт, екі құрылғыдатығызорналасқан. Зерттелетін дене өрелі жылулық ысыраптары болмастай оқшауланған (2.1 сурет) [1].

Зерттелген дененің жылуөткізгіштік λ еселеуішін анықтаңыз.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0)

Зерттелген дененің жылуөткізгіштік λ еселеуішін қалыптасқан жылылықтың кейіптемесімен табамыз



2.1 сурет

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2)F, Вт \tag{2.1}$$

$$\lambda = \frac{Q\delta}{(t_1 - t_2)F} = \frac{Q\delta}{(t_1 - t_2)\pi r^2} = \\ = \frac{23{,}2 Вт \cdot 0{,}001 м}{(120-20)К \cdot \pi 10^2 \cdot 10^{-6} м^2} = 0{,}739 \frac{Вт}{м \cdot К} \tag{2.2}$$

m = n = 0 түрлемінің жауабы λ = 0,739 Вт/(м·К).

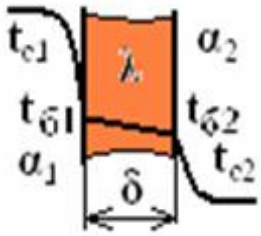
2.2 Жылуөту

Пештің шамот кірпішінен жасалған қабырғасының жылуөткізгіштік еселеуіші $\lambda(t) = 0{,}84(1 + 0{,}695 \cdot 10^{-3} t) = \lambda_0(1 + bt)$ Вт/(м·К) мен қалыңдығы. $\delta = 250$ мм.Пештегі газ бен бөлмедегі ауаның температуралары $t_{c1} = 1200 - m - n\,^0$C мен $t_{c2} = 30\,^0$C. Газдан қабырғаға және қабырғадан ауаға берілетін жылудың еселеуіштері $\alpha_1 = 30 + m + 0{,}2n$ Вт/(м^2·К) мен $\alpha_2 = 10$ Вт/(м^2·К) (2.2 сурет).

Жылуөту еселеуіші k, Вт/(м^2·К) мен жылу ағынының тығыздығы q, Вт/м^2 және қабырғаның $t_{б1}$ мен $t_{б2}$ бет температураларын дәлдігі 5 пайыз жуықты әдіспен анықтаңыз.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0)

Төрт белгісіздерді анықтау үшін келесі кейіптемелерді аламыз



2.2 сурет

$$q = \alpha_1(t_{c1} - t_{б1}), \tag{2.3}$$

$$q = \frac{\lambda_{op}}{\delta}(t_{б1} - t_{б2}), \tag{2.4}$$

$$q = \alpha_2(t_{б2} - t_{c2}), \tag{2.5}$$

$$q = k(t_{c1} - t_{c2}), \tag{2.6}$$

Пештің қабырғасының жылуөткізгіштік еселеуішінің температураға сызықты тәуелділігі арқылы оның (2.4)-тегі аумаққылық орта мәні белгілі шекті мәндерінің арифметикалық орта мәніне тең екенін көреміз

$$\lambda^{op} = \frac{1}{t_{б1} - t_{б2}} \int_{tб2}^{tб1} \lambda_0(1 + bt)dt = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}. \tag{2.7}$$

Белгісіз $t_{б1}$ мен $t_{б2}$-лермен анықталатын (2.7)-дегі λ_1 мен λ_2-лер де белгісіз болады.Сондықтан λ^{op} – бесінші белгісіз шама. Жылуөту еселеуіші

$$\frac{1}{k}=\frac{1}{a_1}+\frac{\delta}{\lambda^{op}}+\frac{1}{a_2} \tag{2.8}$$

(2.3) ÷ (2.5)-терден шығатынынан, мұнда бесінші тәуелсіз теңдеу болмайды.

Сонымен, (2.3) ÷ (2.6) теңдеулердің жүйесі тұйықталмайтындықтан, есепті біртіндеп жуықтау әдісімен (БЖӘ) шешеміз.

БЖӘ-нің бірінші жуықтысы ретінде қабырғаның орта температурасы деп оны қоршаған жылутасығыштар температураларының арифметикалық орта мәнін аламыз $t_б^{op'} \approx (1200 + 30)/2 = 650\ ^0$C. Анықталатын жылуөткізгіштік пен жылуөту еселеуіштері және жылу ағынының тығыздығы мен қабырғаның бет температураларының бұған сәйкесті бірінші жуықты мәндерін табамыз [1].

$$\lambda^{op}=0{,}84(1+0{,}695\cdot 10^{-3}\cdot 650)=1{,}12 Bm/(м\cdot K) \tag{2.7'}$$

$$k'=\left(\frac{1}{a_1}+\frac{\delta}{\lambda^{op}}+\frac{1}{a_2}\right)^{-1}=\left(\frac{1}{30}+\frac{0{,}25}{1{,}12}+\frac{1}{10}\right)^{-1}=2{,}81\frac{Bm}{м^2K} \tag{2.8'}$$

$$q'=k'\left(t_{c1}-t_{c2}\right)=2{,}81(1200-30)=3290\text{Вт/м}^2, \tag{2.6'}$$

$$t_{c1}=t_{c1}-q'/a_1=1200-3290/30=1091^\circ\text{C} \tag{2.3'}$$

$$t_{c2}=t_{c2}+q'/a_2=30+3290/10=359^\circ\text{C} \tag{2.5'}$$

БЖӘ-нің екінші жуықтысы ретінде қабырғаның орта температурасы деп оның бірінші жуықтысындағы бет температурасының арифметикалық орта мәнін алып, бұған сәйкесті жылуөткізгіштік пен жылуөту еселеуіштері және жылу ағыны тығыздығының (екінші жуықты) мәндерін табамыз

$$t_б^{op''}\approx(t_{б1}'+t_{б2})/2=(1091+359)/2=725^\circ\text{C} \tag{2.9''}$$

$$\lambda^{op''}=0{,}84(1+0{,}695\cdot 10^{-3}\cdot 725)=1{,}265 Bm/(м\cdot K) \tag{2.7''}$$

$$k''=\left(\frac{1}{a_1}+\frac{\delta}{\lambda^{op}}+\frac{1}{a_2}\right)^{-1}=\left(\frac{1}{30}+\frac{0{,}25}{1{,}265}+\frac{1}{10}\right)^{-1}=3.02\frac{Bm}{м^2K} \tag{2.8''}$$

$$q''=k''\left(t_{c1}-t_{c2}\right)=3.02(1200-30)=3530\text{Вт/м}^2, \tag{2.6''}$$

Жылу ағыны тығыздығының бұл мәніндегі қабырғаның бет температуралары мен қабырғаның орта температурасыжәне бұған сәйкесті жылуөткізгіштік еселеуішінің үшінші жуықтаудағы орта мәні келесіге тең

$$t_{c1}^{''} = t_{c1} - q''/a_1 = 1200 - 3530/30 = 1082^{\circ}\mathrm{C} \qquad (2.3^{''})$$

$$t_{б2}^{''} \approx t_{c2}^{'} + 2^1/a_2 = 30 + 3530/10 = 383^{\circ}\mathrm{C} \qquad (2.5^{''})$$

$$t_{б}^{ор'''} \approx (t_{б1}^{''} + t_{б2}^{''})/2 = (1082 + 383)/2 = 732^{\circ}\mathrm{C} \qquad (2.9^{'''})$$

$$\lambda^{ор'''} = 0{,}84(1 + 0{,}695 \cdot 10^{-3} \cdot 732) = 1{,}267\,Вт/(м \cdot К) \qquad (2.7^{'''})$$

Үшінші жуықтыда жылуөткізгіштік еселеуішінің орта мәні онша өзгерген жоқ, яғни, оның есептік дәлділігі берілгенінен келесідей көп жоғары

$$\delta\lambda = \frac{\lambda^{ор'''} - \lambda^{ор''}}{\lambda^{ор'}} 100\% = \frac{1{,}267 - 1{,}265}{1{,}265} 100\% = 0{,}16 \le 5\% \qquad (2.9)$$

Сонымен, есеп аяқталады. Оның m = n = 0 түрлемінің жауабы ретінде бұл жолы екінші жуықты қорытындылары алынады

$$t_{б1} \approx t_{б1}^{''} = 1082^{\circ}\mathrm{C},\ t_{б2} \approx t_{б2}^{''} = 383^{\circ}\mathrm{C},\ \mathrm{к} \approx к'' = 3{,}02\,Вт/(м^2 \cdot К),\ \mathrm{q} \approx q'' = 3530\,Вт/м^2$$

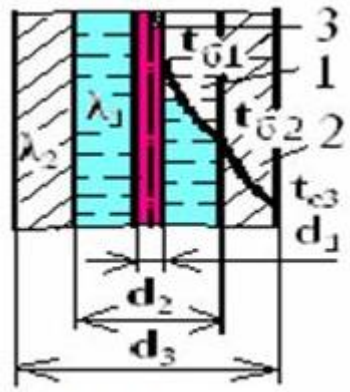
Кейде талдаулық күрделі шешімдердің орнына мүмкін дәлдікпен БЖӘ-ні пайдаланған ұтымды [1].

2.3 Сұйықтың жылуөткізгіштік еселеуішін қыздырылған сым әдісімен анықтау

Сұйықтардың жылуөткізгіштік еселеуішін «қыздырылған сым» әдісімен анықтайтын аспапта платина сымы 3 пен кварц 2 түтікшенің аралығына май 1 құйылған. Платина сымының қосөресі мен ұзындығы d_1 = 0,12 мм мен l = 90 мм; кварц түтікшенің ішкі және сыртқы қосөрелері d_2 = 1 мм мен d_3 = 3 мм және жылуөткізгіштік еселеуіші λ_2 = 1,4 Вт/(м·К).

Жылулық ағыны Q = 1,8 + 0,1m + 0,02n Вт пен платина сымының температурасы $t_{б1}$ = 106,9 + m + 0,2n ^{0}C және кварц түтікшенің сыртқы бет температурасы $t_{б3}$ =30,6^{0}C-лерде зерттелетін майдың жылуөткізгіштік

еселеуіші λ_1 мен орта температурасы t_1^{op}-ді анықтаңыз (2.3 суретті қараңыз) [1].



2.3 сурет

Тапсырма шешімінің мысалы (m = n = 0)

Зерттелетін қосқабатты сырықтың жылуөткізгіштік ағынының кейіптемесін ыңғайлы мына түрде жазайық

$$\frac{2\pi l(t_{б1}-t_{б3})}{Q}=\frac{1}{\lambda_1}\ln\frac{d_2}{d_1}+\frac{1}{\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2}. \qquad (2.10)$$

Мұнан, берілген мәліметтерді ескере, λ_1-ді келесідей анықтаймыз

$$\frac{1}{\lambda_1}=\frac{2\pi l(t_{б1}-t_{б3})}{Q}\ln\frac{d_1}{d_2}-\frac{1}{\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2}\ln\frac{d_1}{d_2},$$

$$\frac{1}{\lambda_1}=\frac{2\pi 0{,}09(106{,}9-30{,}6)}{1{,}8}\ln\frac{0{,}12}{1}-\frac{1}{1{,}4}\ln\frac{3}{1}\ln\frac{0{,}12}{1}=\frac{1}{0{,}0915} \qquad (2.11)$$

Зерттелген майдың анықталған $\lambda_1 = 0{,}0915$ Вт/(м·К жылуөткізгіштік еселеуішін сипаттаушы орташа температурасы t_1^{op}-ді жуықты оны қоршаған денелердің бет температураларының арифметикалық орташа мәнімен табамыз

$$\frac{2\pi l(t_{б2}-t_{б3})}{Q}=\frac{1}{\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2},$$

$$t_{б2}=t_{б3}+\frac{Q}{2\pi l\lambda_2}\ln\frac{d_3}{d_2}=30{,}6+\frac{1{,}8}{2\pi 0{,}09\cdot 1{,}4}\ln\frac{3}{1}=33{,}1^0C,$$

$$t_1^{op}=(t_{б1}+t_{б2})/2=(106{,}9+33{,}1)/2=70^0C. \qquad (2.12)$$

m = n = 0 түрлемінің жауабы: $\lambda_1 = 0{,}0915$ Вт/(м·К), $t_1^{op}=70^0C$

2.4 Критикалық диаметр

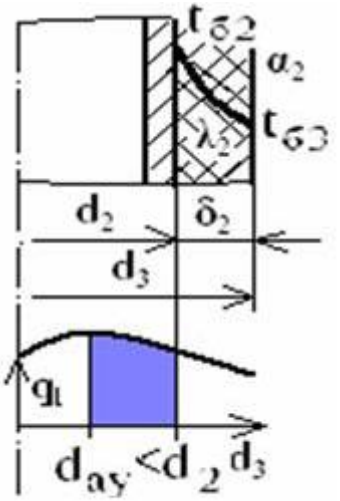
Сыртқы диаметрі $d_2 = 200 + m + 0{,}5n$ мм мен сыртқы бет температурасы $t_{б2} = 130 + m + 0{,}2n$ ^{0}C құбырды жылулық оқшаулау қажет. Оқшауланғаннан кейін де $t_{б2} = 130 + m + 0{,}2n$ ^{0}C болсын. Оқшауланған құбырдың сыртқы бет температурасы мен сызықты жылулық тығыздығы келесідей шектелсін $t_{б3} \leq$

30°C мен $q_l \le 200$ Вт/м және сыртқы жылуберу еселеуіші $\alpha_2 = 10 + m + 0{,}2n$ Вт/(м^{2}К) болсын (2.4 суретті қараңыз) [1].

Жылуөткізгіштік еселеуіші $\lambda_2 = 0{,}05 + 0{,}1m + 0{,}1 \cdot n$ Вт/(м·К)-ді зат жылулық оқшаулауға жарай ма? Егер жарайтын болса, жылулық оқшаулаушы қабаттың қалыңдығы δ_2 қандай болуға тиіс?

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0).

Сырықтың (цилиндр, стержень) аумалы диаметрі ($\alpha_2(d_3) =$ тұрақты деп) келесідей анықталады Bi ≈ 2, $\alpha_2 d_{ay}/\lambda_2 \approx 2$, $d_{ay} \approx 2\lambda_2/\alpha_2 \approx 2 \cdot 0{,}05/10 = 0{,}01$м.Бұл түрлемде $d_{ay} \approx 10$ мм < $d_2 = 200$ мм болғандықтан жылуөткізгіштік еселеуіші $\lambda_2 = 0{,}05$ Вт/(м·К) зат жылулық оқшаулауға жарайды. Өйткені оқшаулағыштың қалыңдығы өсе келе, 2.4 суретте көрсетілгендей, жылулық ысыраптың тығыздығы ($q_l < q_l^{\text{енү}}$, $\partial q_l/\partial d_3 < 0$) азаяды.



2.4 сурет

Берілген $t_{б3} \le 30$°C мен $q_l \le 200$ Вт/м шартты орындау үшін жылулық оқшаулауға жарайтын заттың қажетті δ_2 қалыңдығын қалыптасқан жылуөткізгіштіктің сызықты жылулық тығыздығының келесі кейіптемесі арқылы анықтаймыз

$$q_l = \frac{Q}{l} = 2\pi\lambda_2(t_{б2} - t_{б3}) \ln\frac{d_2}{d_3}, \qquad (2.13)$$

кейде, $d_3/d_2 < 2$ болғанда, (2.13)-тегі логарифмнің қатарға ыдырауының бірінші қосындысын 4 пайыздан жоғары дәлділікпен алып, яғни $\ln(d_2/d_3) \approx d_2/(2\,\delta_2)$ деп, жуықты есептеу қолайлы болады

$$\ln\frac{d_3}{d_2}\bigg|_{d3/d2\to 1} \approx \left(\frac{d_3}{d_2} - 1\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{d_3}{d_2} - 1\right) + \ldots \approx \left(\frac{d_3}{d_2} - 1\right) = \frac{d_3 - d_2}{d_2} = \frac{2\delta_2}{d_2}, \qquad (2.14)$$

$$q_l\big|_{d3 \le 2d2} \approx 2\pi\lambda_2(t_{б2} - t_{б3})d_2/(2\delta_2). \qquad (2.15)$$

Жуықты (2.15) кейіптеме бойынша

$$\delta_2 \approx \pi\lambda_2 d_2(t_{c2} - t_{c3})/q = \pi 0.05 \cdot 0{,}2(130 - 30)/200 = 0{,}0157\text{м} \qquad (2.16)$$

Жуықты есептің бірінші шарты

$$d_3^{\approx} = d_2 + 2\delta_2 \approx 200 + 2 \cdot 15{,}7 = 231{,}4 мм, d_3^{\approx}/d_2 \approx 231{,}7/200 = 1{,}57 \prec 2$$

орындалғанымен, $\delta_2 \approx 15{,}7$ мм деп алу үшін, жуықты есептің берілген дәлділігінің (екінші шартының) орындалуын тексеру қажет, өйткені жуықты есептің әрбір кезеңінің қателіктері қосылып отырады. Бұл жолы жуықты есептің дәлділігі (айырмашылығы)

$$q^{есепті}{}_1 / q^{шартты}{}_1 = 2\pi\lambda_2(t_{c2} + t_{c3})\ln(d_2 / d_3) / q_1^{шартты} =$$
$$= 2\pi 0{,}05 \cdot 100 \ln(200/231{,}4)/200 = 1.077 = 7{,}7\%$$

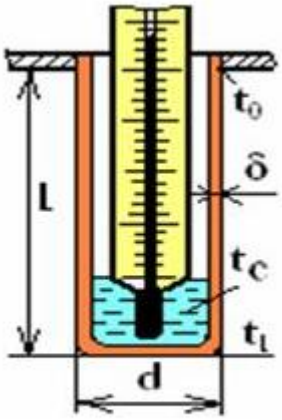
шартты дәлділіктен (4 %) төмен болғандықтан $\delta_2 \approx 15{,}7$ мм тек жуықты бағалаулық қорытындысы болып, оның тура мәні (2.13) бойынша табылады

$$\ln(d_3 / d_2) = 2\pi\lambda_2(t_{б2} - t_{б3}) / d_1 = 2\pi 0{,}05 \cdot 100 / 200 = 0{,}157, d_3 / d_2 = 1{,}17,$$
$$d_3 = 1{,}17 d_2 = 1{,}17 \cdot 200 = 234 мм,$$
$$\delta_2 = (d_3 - d_2) / 2 = (234 - 200) / 2 = 17 мм \qquad (2.17)$$

Сонымен, қаралған жылулықоқшаулағышты пайдалануға болады және оның қалыңдығы 17 мм.

m = n = 0 түрлемінің жауабы: берілген зат жылулық оқшаулауға жарайды, оның қалыңдығы 17 мм болуға тиіс.

2.5 Ортаның дәл ыстықтығын анықтау



2.5 сурет

Сауыттағы ауаның температурасы сынапты өлшегішпен анықталады. Ол май құйылған болат құбыршада орналасқан (2.5 суретті қараңыз). Өлшегіш құбырша шетінің температурасы $t_l = 84 + m + 0{,}2n$ ^{0}C, табанының температурасы t_0=40^{0}C, ұзындығы $l = 120 + m + 0{,}2n$ мм, қабырғасының қалыңдығыδ=1,5 мм, жылуөткізгіштік еселеуіші $\lambda = 55{,}8 - m - 0{,}1 \cdot n$ Вт/(м·К). Ауадан құбыршаға берілетін жылудың еселеуіші $\alpha =$ 23,3 Вт/(м^{2}К).

Құбыршаның жылуөткізгіштігінен пайда болатын температураның өлшеулік қателігіt_c-t_l мен ауаның нақты t_cтемпературасын анықтаңыз [1].

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0)

Есептеуге шекті сырық шешімінің келесі кейіптемесін алайық

$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_0} = \frac{t_c - t_1}{t_c - t_0} = \frac{1}{\mathrm{ch}(ml)}, \qquad (2.18)$$

Мұндағы $m = \sqrt{\alpha u / (\lambda f)}$ - сырық жылуөткізгіштігінің шаққылық теңдеуінің көрсеткіші, м$^{-1}$;

$u = \pi d$ – құбыршаның жиектігі;

$f=\pi d\delta$ - құбыршаның қимасы, м^2.

Сондықтан $u/f \approx 1/\delta$, $m = \sqrt{23.3/(55.8 \cdot 0.0015)} = 16.71$м

$$ml = 16{,}7 \cdot 0{,}12 = 2,\ ch(2,0) = 3.76$$

$$\frac{t_c - t_1}{t_c - t_0} = \frac{1}{3{,}76} = 0{,}266,\ t_c = \frac{t_1 - 0{,}266 t_0}{1 - 0{,}266} = \frac{84 - 0{,}266 \cdot 40}{0{,}734} = 100^{\circ}C$$

m = n = 0 түрлемінің жауабы: ауаның нақты температурасы$t_c=100^0C$ мен оның өлшеулік қателігі t_c-t_l=100-84=16^{0}С.

Бақылау сұрақтары

1 Жылуөткізгіштік пен жылуберудің және жылуөтудің жылу ағын тығыздықтарының кейіптемелерін өзара салыстырыңыздар.

2 α мен k және λ/δ еселеуіштері нені анықтайды?

3 Неліктен k <α_1, α_2, λ/δ?

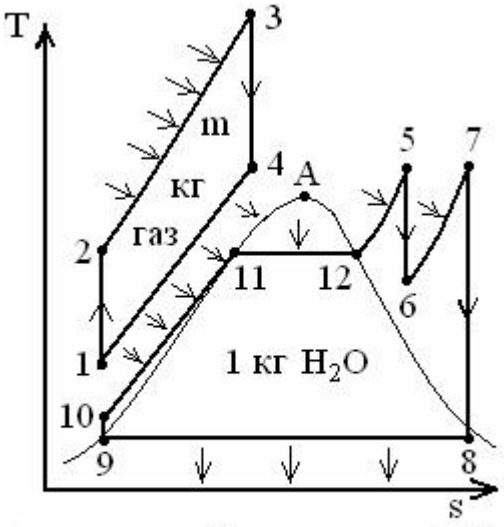
4 Жылу (жылу мөлшері) Q_τ мен жылу ағыны (жылылық) Q және жылу ағынының (жылылық) тығыздығы q дейтініміз не?

5 Құбыршадағы майдың қажеттілігі неде?

6 Жылуөткізгіштік еселеуішті ыстықтыққа тәуелді қалай анықталады?

3 №3 есепті-сызба жұмыс. Жылу электр станцияларының тиімділігі

Жылуқозғалымдық бугазды айналымдарының тиімділігі



3.1 сурет - Бугазды мүлтіксіз айналымның сұлбасы

Жылуқайраттық қондырғылардың үнемдік (экономикалық) және экологиялық басты тиімділігі жылуқозғалымдық айналымдарымен анықталады. Бұлардың да ең тиімділіктері – жаңғыртулы мен жылуландырулы және бугазды айналымдары. Өйткені жаңғыртулы айналымның термиялық пайдалы жұмыс еселеуіші (ПЖЕ-сі) Карно айналымының термиялық (ең үлкен) ПЖЕ-сіне тең. Оған қоса, жаңғыртулы мен жылуландырулы айналымдарының қоршаған ортаға тасталатын жылуы аз болатынынан оған сәйкесті жылуқайраттық қондырғылардың әсерлік ПЖЕ-сі (экономдық және экологиялық тиімділігі) жоғары болады.Ал, бугазды айналымдарының ПЖЕ-сі, бу айналымдарының төменгі температуралы тиімділігіне газ айналымдарының жоғарғы температуралы тиімділігі қосылып, қосайналымды

(бинарно) әр қайсының ПЖЕ-лерінен 1,5 ÷ 2 еседей артық болады (3.2 сурет) [1].

Бугазды қондырғылардың (БГҚ) әсерлік пайдалы жұмыс еселеуіші (ПЖЕ) Сименс (Германия) пен Дженерал электрик (АҚШ) фирмаларында 60 пайызға зерттеулі жеткізілген. Мұндай зор табысқа ие болудың негізгі себебі - БГҚ-ның жоғарғы сатысындағы (газ турбиналы қондырғыдағы (ГТҚ) жұмыс дененің (газдың) басты температурасының 1500 ^{0}С-ге дейін көтерілуі.

Оған қоса, БГҚ-лардың қондырылған қуатының басты шығынының (капвложениенің) үлесі БГҚ-ның төменгі сатысы болатын – бу турбиналы қондырғыларының (БТҚ) меншікті қуатының басты шығынынан 20 пайыздан аса төмен. Тіпті БГҚ-ның қайтарымды мерзімі БТҚ-ның қайтарымды мерзімінен сол шамадай төмен.

Қазіргі уақытта БГҚ-ның ғылыми мәселері жеткілікті игерілгендей және жылу электр станциялардың (ЖЭС) тозуы жетіп, енді олардың жалпы жаңаландыруы тек аса тиімді БГҚ-лармен ауыстырылуы ерекше орынды. Дегенмен, кадр мәселесі әрдәйім орын алады. Сондықтан қаралып отырған мәселе өте маңызды және орынды.

БГҚ тәсілдемелігі Қазақстанға да ауадай қажет. Бізге ішкі айналымды газдандырулық жоғары тегеурінді бу өндіргішті БГҚ-лар әсіресе қолайлы. Өйткені Қазақстанның табиғи газ көздері шамалы және табиғи газ - химиялық өте маңызды және құнды тәсілдемелік шикі зат. Ал, газбен салыстырмалы өте арзан көмірді газдандырып пайдалану – экономды және мекен қорғаулық маңызды жоғары дәрежелі өндіріс. Қазақстанның табиғи көмір көздері де мол және байлық қоры 4-ші орын алатын Балхаш көлінің маңындағы, Ілі өзенінің астындағы, қоңыр көмірді жерасты газдандырып өндіру - тапқан амал болар еді және мың жарым шақырымнан тасылатын Екібастұз тас-құмды көмірінен Іле көмірі Алматы өлкесіне аса тиімді болады [1].

Осы себептен бұл есептік-сызба жұмыстың басты тапсырмасы ретінде ішкі айналымды газдандырулық жоғары тегеурінді бу өндіргішті БГҚ-ның жылулық сұлбасы мен есебі де қарастырылады.

3.1 Тапсырма. Жоғары тегеурінді буөндіргішті бугазды қондырғының есебі

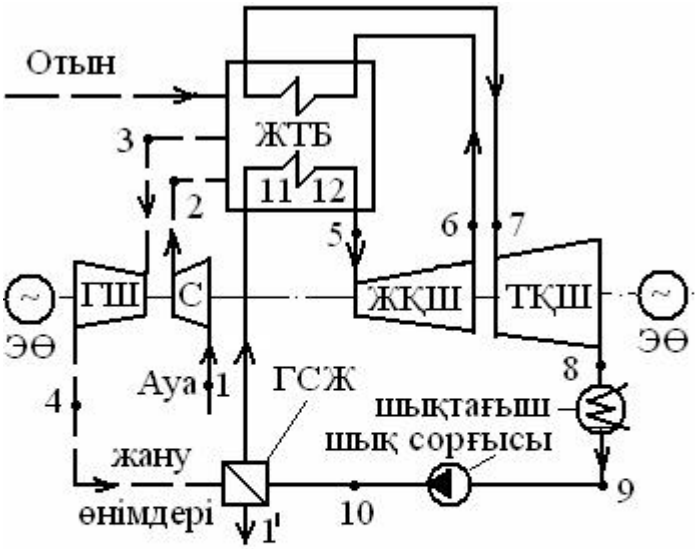
Жоғары тегеурінді буөндіргішті (ЖТБ) бугазды қондырғының (БГҚ) Ts – сызбасындағы айналымы мен жылулық сұлбасы 3.1 мен 3.2 суреттерде келтірілген.

Ауа p_1 = 0,1 МПа мен t_1 = 20 + m - n ^{0}С 1 күйінен 2 күйіне дейін сығымдағышта (турбоком-прессорда) p_2 = 0,8 + 0,1m -0,01n МПа–ға дейін сығылып, бітеу (саңылаусыз) ЖТБ–ға беріліп, ЖТБ-да отын жағылады.

Отынның ЖТБ-дағы жану өнімдері суды қайнаттырып, оның қанықкан буын 11 мен 12 күйлерінен 5 күйіне дейін аса қыздырып, температурасы t_3 = 800 + m + n ^{0}С–ге дейін төмендеген соң, газ турбинасына (ГТ-ға) беріледі.

Мұнда жану өнімдерінің жылулығы (ағындық энергиясы) ГТ-ның механикалық (айналу) энергиясына өзгеріп, электрөндіргіште (ЭӨ) электр энергиясы өндіріледі. Жану өнімдерінің қалған (ГТ-нан шыққан) жылуы газбен суды жылытқышта (ГСЖ-да) жаңғыртылып, t_1 = 120 – m - n ^{0}C температурасымен мұржаға беріледі.

Қысымы p_5 = 13 МПа мен температурасы t_5 = 565 + m - n ^{0}C аса қызған бу жоғары қысымды турбинада (ЖҚТ) жұмысын істегеннен кейін ЖТБ–ға қайта беріліп, қысымы $p_6 \approx p_7$ = 3,0 МПа-да температурасы t_7 = 565 + m - n ^{0}C–ге қайта көтеріліп, төменгі қысымды турбинаға (ТҚТ-ға) беріліп, турбинадан p_8 = 3 кПа–да шықтағышқа түседі [1].



ГСЖ - газбен суды жылытқыш, ГШ - газ шығыры, С - сығымдағыш, ЭӨ - электр өндіргіші, ЖҚШ, ТҚШ - жоғарғы және төменгі қысымды бу шығырлары.

3.2 сурет - БГҚ-ның жылулық сұлбасы

Бугазды мүлтіксіз (яғни $\eta_c^{ic} = \eta_u^{ic} = 1$-де; ескерту: студенттің өзіндік $\eta_c^{ic} = \eta_u^{ic} = 0{,}85$ - ішкі ПЖЕ-дегі есептеуі ерекше бағалануы мүмкін) қос жылуқозғалымдық айналымының термиялық ПЖЕ-сі есептеліп, бұл айналымның ең үлкен мен ең кіші температураларының аралығындағы Карно айналымының ПЖЕ-сімен салыстырылсын. Газдың физикалық қасиеттері ауадай және c_p = тұрақты болсын. Су сорғыларының жұмыстары ескерілместей аз болсын.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0).

Ең алдымен газ айналымының 2 мен 4 нүктелерінің белгісіз температураларын анықтаймыз

$$T_2 = T_1 \beta^{\frac{k-1}{k}} = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot 8^{\frac{1.41}{1.4}} = 531\text{K} \qquad (3.1)$$

$$T_4 = T_3 \frac{T_1}{T_2} = 1073 \frac{293}{531} = 592K \qquad (3.2)$$

ГСЖ–ының жылылық келесі теңестігінен

$$m(h_4 - h_1) = h_{11} - h_9$$

1 кг суға келетін газдық қатынасын анықтаймыз:

$$m = \frac{h_{11} - h_9}{h_4 - h_1} = \frac{h_{11} - h_9}{c_p(T_4 - T_1)} = \frac{1532 - 101}{1.005(592 - 393)} = 7.153 \qquad (3.4)$$

мұндағы h_{11} мен h_9 кДж/кг қажырлары [3]–тен p_5 = 13 МПа мен p_9 = 3 кПа-ларда табылған.

Қос айналымның теориялық ПЖЕ – сі

$$\eta_t = \frac{m((h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)) + ((h_5 - h_6) + (h_7 - h_8))}{m(h_3 - h_2) + ((h_5 - h_{10})) + (h_7 - h_8))} =$$

$$\frac{7.153(1.005(1073 - 592) - 1.005(531 - 293)) + (3506 - 3061) + (3604 - 2200)}{7.153 \cdot 1.005(1073 - 531) + (3506 - 1532) + (3604 - 3061)} = \qquad (3.5)$$

$$= 0.561,$$

мұндағы су мен су буынын h_5, h_7, h_{10} қажырлары [3]-тің кестелерінен су мен су буынын берілген көрсеткіштері арқылы анықталған, ал h_6 мен h_8 тұрақты энтропиялық құбылыстардың есептері арқылы табылған. Газдың (ауаның) жылусыйымдылығы затшалы кинетикалық теория бойынша

$$C_p = \frac{8{,}314 \cdot 7}{28{,}96 \cdot 2} = 1{,}005 \frac{кДж}{кг К} \qquad (3.6)$$

Карно айналымының ПЖЕ-сі

$$\eta_t^{\ K} = 1 - \frac{T_8}{T_3} = 1 - \frac{297}{1073} = 0.723 \qquad (3.7)$$

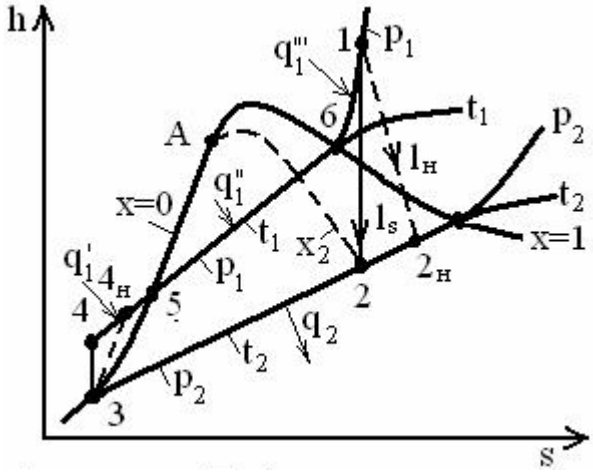
Қос айналымның теориялық ПЖЕ–сі Карно айналымның теориялық ПЖЕ-сінің келесі үлесін құрады

$$\frac{\eta_t}{\eta_t^{\ K}} = \frac{0.501}{0.723} = 0.78 \qquad (3.8)$$

Бұл жақсы көрсеткіш болып табылады.

3.2 Тапсырма. Шықты электр стансаның тиімділігі

Турбинаға қысымы $p_1 = 16,6 + 0,1m + 0,05n$ МПа және температурасы $t_1 = 550\ ^0$С су буы беріліп, турбинадандан кейін $p_2 = 4$ кПа қысымында толық шықтанады. Турбина мен сорғының ішкі салыстырмалы пайдалы еселеуіштері $\eta^{ш}_{іс} = 0,85$, $\eta^{с}_{іс} = 0,85$. Турбинаның механикалық және электр өндіргіштің ПЖЕ–лері $\eta_м = 0,97$, $\eta_ө = 0,98$. Бу қазаны мен бу құбырларының ПЖЕ-лері $\eta_{бк} = 0,91$, $\eta_к = 0,99$. Шықты электр станцияда (ШЭС–та) жағылатын отынның жылылығы $Q^{ж}_{т} = 30$ МДж/кг мен турбинаға берілетін будың шығысы D = 81,9 кг/с (3.3 сурет). Ренкин айналымының пайдалы жұмыс еселеуіштерін және ШЭС-тың отын шығысы мен қуатын және негізгі түзгілерінің жылылық ысыраптарының үлестерін анықтап, өзара салыстыру керек [1].



h - қажыр, кДж/кг, s – энтропия, кДж/(кгК), А- аумалық нүкте, р - қысым, кПа, х – құрғақтық дәреже.

3.3 сурет – Ренкин айналымы

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0)

3.2.1 Ренкин айналымның ПЖЕ-лерін анықтау үшін hs – сызбағы мен будың жылуқозғалымдық қасиеттерінің кестесі [3] арқылы есептік нүктелердің қажетті мәндерін анықтаймыз. Олар $h_1 = 3438$, $h_2 = 1945$, $h_3 = 120$, $h_4 = 137$ кДЖ/кг, $t_2 = 28,6$, $t_4 = 29\ ^0$С.

3.2.2 Сонда қайтымды Ренкин айналымының теориялық ПЖЕ-сі

$$\eta_t = \frac{l_t}{q_1} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_4} = \frac{3438 - 1945}{3438 - 137} = \frac{1493}{3301} = 0.46 \qquad (3.9)$$

Бұл қайтымды Карно айналымының келесі теориялық ПЖЕ-нен

$$\eta_k = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{28.6 + 273}{550 + 273} = 0.63 \qquad (3.10)$$

Ренкин айналымының жетіксіздігі – ол 4 пен 1 нүктелер аралығындағы (3.3 сурет) жұмыс дене орта температураларының төмендігінде

$$\eta_{\text{к}}' = 1 - \frac{\overline{T_2}}{\overline{T_1}} = 1 - \frac{28.6 + 273}{(29 + 550)/2 + 273} = 0.46 \qquad (3.11)$$

3.2.3 Нақты айналымның пайдалы жұмыс еселеуіші мұнан да төмен. Оның себептерін қарайық.

Жоғары қуатты нақты турбиналардың ішкі салыстырмалы ПЖЕ-лерінің мәндері $\eta^{\text{ш}}_{\text{іс}} = 0{,}85 \div 0{,}9$ аралығында болады.

Сығымдағыштың (сорғының) ішкі салыстырмалы ПЖЕ-лерінің мәндері де сол аралықта болады (3.3 сурет)

$$\eta_{\text{к}}{}^{c} = (h_4 - h_3)/(h_{4н} - h_3) = 0.85 \div 0.90 \qquad (3.12)$$

Бұлардың кіші мәндеріндегі Ренкин айналымының ішкі салыстырмалы ПЖЕ-сін келесідей табамыз:

$$\eta_{\text{іс}}{}^{ра} = \frac{l^{a}{}_{н}}{l^{a}{}_{3}} \frac{(h_1 - h_2)\eta_{ic}{}^{\text{ш}} - (h_4 - h_3)/\eta_{ic}{}^{c}}{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)} =$$
$$= \frac{(3438 - 1945) \cdot 0{,}85 - (137 - 120)/0{,}85}{1493 - 17} = 0{,}846 \approx 0{,}85 \qquad (3.13)$$

Сығымдағыштың ішкі салыстырмалы ПЖЕ-нің кіші мәнін алғанының өзінде $\eta^{\text{ра}}_{\text{іс}} = \eta^{\text{ш}}_{\text{іс}}$ болып шықты. Сондықтан іс жүзінде $\eta^{\text{с}}_{\text{іс}}$ көбінде ескерілмейді де $\eta^{\text{а}}_{\text{іс}}$–тің (1.13) орнына $\eta^{\text{ш}}_{\text{іс}}$ алына беріледі.

Сонымен, Ренкин айналымының ПЖЕ-і

$$\eta_i^{ра} = \eta_{ic}^{ра}\eta_t^{ра} = 0{,}85 \cdot 0{,}46 = 0{,}39 \qquad (3.14)$$

яғни айналымға берілген жылулықтың 39 пайызы ғана пайдалы жұмысқа айналуы мүмкін болып отыр.

1.2.4 Осы кезгі қуатты шығырлар мен электр өндіргіштердің тетіктік ПЖЕ-лері $\eta_{\text{м}} = 0{,}97 \div 0{,}995$, $\eta_{\text{ө}} = 0{,}97 \div 0{,}99$ [1]. Бұлардың мәндерін еске алсақ, айналымның электр өндіргішінің (турбина қондырғыларының) ПЖЕ–сі

$$\eta_{ш} = \eta_{м}\eta_i^{a} = 0{,}97 \cdot 0{,}39 = 0{,}38 \qquad (3.15)$$

және турбина - өндіргіш қондырғыларының электр әсерлік ПЖЕ-сі келесі

$$\eta_{эа}{}^{шθ} = \eta_{\theta}\eta_{ш} = 0{,}98 \cdot 0{,}38 = 0{,}37 \qquad (3.16)$$

3.2.5 Енді қазан қондырғысы (іс жүзінде $\eta_{бк}$ = 0,89 ÷ 0,93) мен бу құбырларының ПЖЕ–лерін ескерсек, ШЭС–тің әсерлік ПЖЕ–сі

$$\eta_{эа}^{шэс} = \eta_{бк}\eta_{к}\eta_{эф}^{ш\theta} = 0{,}91 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}37 = 0.33 \qquad (3.17)$$

Сонымен Ренкин айналымды ШЭС-тың электр әсерлік ПЖЕ-сі 33 пайыз-ақ болды.

3.2.6 Шығырдың қуатын және отын шығысын (3.17) арқылы табамыз

$$N = Q_0\eta_{эа}^{шэс} = BQ_m^{ж}\eta_{эа}^{шэс} = \frac{Q_1}{\eta_a}\eta_{эа}^{шэс} = Q_1\eta_{эа}^{ш\theta} = q_1 D\eta_{эа}^{ш\theta} =$$
$$(h_1 - h_4)D\eta_{эа}^{ш\theta} = (3438 - 137) \cdot 81.9 \cdot 0.37 = 100 МВт \qquad (3.18)$$

$$B = \frac{N}{Q_m^{ж}\eta_{эа}^{шэс}} = \frac{100}{30 \cdot 0{,}33} = 10{,}1 кг/с \qquad (3.19)$$

ШЭС-тің меншікті отын шығысы

$$b = \frac{B}{N} = \frac{10{,}1}{100} = 0{,}101\frac{кг}{МВт \cdot с} =$$
$$= 0{,}101\frac{3600(с/саг)кг}{МВт \cdot с} = 0{,}3636\frac{кг}{кВт \cdot саг} \qquad (3.20)$$

3.2.7 Жұмыс дененің шығысына келтірілген отынның меншікті жану q_0 = Q/D, кВт/(кг/с) = кДж/кг жылылығын 100 пайыз деп алып, бу қазанының, бу құбырларының, турбинаның механикалық пен электр өндіргіштің шығындарын және электр жүйесіне берілген жұмысты келесі пайызды үлестерімен сипаттаймыз [1].

$$\left(\frac{\Delta q_{бк}}{q_0} + \frac{\Delta q_к}{q_0} + \frac{\Delta q_м}{q_0} + \frac{\Delta q_\theta}{q_0} + \frac{l_э}{q_0}\right) \cdot 100 = 9 + 1 + 1 + 1 + 33 = 45\%. \qquad (3.21)$$

Ал, қалған 55 % - турбинаның шықтағышына берілген $q_2^{н}$–нің (яғни қоршаған ортаға тасталатын жылылықтың) үлесі болады

$$\eta_i^{\,a} = \frac{q_1 - q_2^{\,н}}{q_1}, q_2^{\,н} = (1-\eta_i^{\,a})q_1,$$

$$\frac{q_2^{\,н}}{q_0} = (1-\eta_i^{\,a})\frac{q_1}{q_0} = (1-\eta_i^{\,a})\eta_{бк}\eta_к = (1-0{,}9)\cdot 0{,}91\cdot 0{,}99 = 55\% \quad (3.22)$$

Ескерту. Студент мәселені шешуімен қатар оған қорытынды және (оның негізінде) ұсыныс жасауға үйренуі мен дағдылануы керек. Сондықтан әрбір орындалған тапсырмадан кейін студент өзінше қысқаша қорытынды жасап отыруға тиіс. Оған мысал келтіру қажет.

Қорытынды. 1. Қаралған ШЭС-тың пайдалы 33% электр энергиясынан екі еседей (55 %) жылылық тек жұмыс денені шықтандыруға кетеді. Келесі көп шығын (9 %) бу қазанындағы отын жағылуымен байланысты. Ал, жылуалмасу құбылыстарының ысыраптарын ескерсек, қоршаған ортаға кететін барлық жылу ысырабы – түрленбеулік (анергия) 67 % (3.1 кесте).

2. ПЖЕ-мен қатар ЖЭС-тің келесі маңызды көрсеткіші – меншікті отын шығысы 363,6 г/(кВт·сағ) (1.20) (қазіргі 320 г/(кВт·сағ)-тан артық, ал, Нүрек СуЭС-ін ескерсек, Қырғызстанда бұл көрсеткіш тіпті 208 г/(кВт·сағ)-ақ).

3. Турбинаның шығысындағы будың $p_2 = 4$ кПа-дағы $h_{2s} = 1945$ пен $h_{2н} = 2169$ кДж/кг қажырларына сәйкес құрғақтық дәрежелері $x_2 = 0{,}75$ пен $x_{2н} = 0{,}84$ болғаны турбина жұмысына қауіпсіз $x = 0{,}87 \div 1$-ден төмен.

Ұсыныс. 1. Турбина жұмысын реттеу үшін турбина алдындағы буды аралық аса қыздыру қажет [1].

2. ШЭС-тің үнемділік тиімділігін көтеру үшін, жергілікті (жылуландыру (теплофикация) мен химиялық су тазалау және тәсілдік сумен қамту, көкөніс өсіру (теплица) жүйелері ж.т.б.) мүмкіншіліктерді ескере, төменгі температуралы энергиялық қорларын (ҚҚ) пайдалану керек. Тіпті болмаса, қаралған ШЭС-ті аса тиімді ЖЭО-ға не бугазды (қос айналымды) қондырғыға (БГҚ-ға) жобалау қажет.

3.1 к е с т е – 3.2 тапсырманың негізгі қорытындылары

№	Аты	Таңбасы	Өлшем бірлігі	Мәні
1	ШЭС-тің электрлік әсерлі ПЖЕ-і	$\eta_{эә}^{шэс}$	%	33
2	Турбинаның қуаты	N	МВт	100
3	ШЭС-тің меншікті отын шығысы	$b_н$	г/(кВт·сағат)	363,6
4	Турбинаның жылулық ысырабы	q_2/q_0	%	55
5	Турбинаның шығысындағы су буыныңқұрғақтық дәрежесі	x_2 $x_{2н}$	- -	0,75 0,84
6	ШЭС-тің энергиялық жалпы ысырабы	$q_ы/q_0$	%	67

3.3 Тапсырма. ЖЭО-ның сағаттық отын шығысын анықтау

Өндірістік ЖЭО-дағы әрқайсысының электрлік қуаты $N_э$ = 4 МВт-ты екі қарсы қысымды (Р) турбиналардан шыққан будың жылулығы өндірістік пайдаланып, толық шықтанып, айналымға қосылады. Олардың көрсеткіштері p_1 = 3,5 + 0,1m + 0,05n МПа, t_1 = 435 + m + n ^{0}C, p_2 = 0,12 МПа. Қондырғы Ренкин айналымымен істейді. Отынның жану жылылығы $Q^ж_т$ = 28,47 МДж/кг. Бу қазанының пайдалы жылу еселеуіші (ПЖЕ) $\eta_{бк}$ = 0,84.

ЖЭО–ның сағаттық отын шығысын анықтау керек.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0).

Су мен су буының жылу физикалық қасиеттерінің hs – көрнек сызбағы мен [3] анықтамасынан берілген нүктелердегі қажырларды табамыз h_1 = 3303 кДж/кг, h_2 = 2538 кДж/кг, h_3 = 439,4 кДж/кг (3.3 сурет) [1].

Трубинаға берілетін будың сағаттық шығысы

$$D = \frac{3600 \cdot 2 \cdot N_Э}{h_1 - h_2} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot 4000}{3302 - 2538} = 372680 \frac{кг}{саг} \qquad (3.23)$$

Өндірістің пайдаланатын жылылығы

$$Q_{өн} = D(h_2 - h_3) = 37680 \cdot (2538 - 439{,}4) = 79{,}1 ГДж/саг \qquad (3.24)$$

Бу қазанындағы будың алған жылылығы

$$Q = D(h_1 - h_3) = 37680 \cdot (3302 - 439{,}4) = 107{,}9 ГДж/саг \qquad (3.25)$$

ЖЭО-ның сағаттық отын шығысы

$$B = \frac{Q}{Q_т^ж \eta_{бк}} = \frac{107{,}9 \cdot 10^6}{28470 \cdot 0{,}84} = 4511 \frac{кг}{саг} \qquad (3.26)$$

3.4 Тапсырма. ЖЭО айналымының отын өнімділігін анықтау

3.3 тапсырманың ЖЭО электр қуаты мен жылылығы жекеленіп ШЭС-та және төменгі қысымды жылулық қазанда өндірілетін болсын. Жылулық қазанның ПЖЕ-сі және басқадай көрсеткіштері сол 3.3 тапсырмадай және ШЭС турбиналарының шығысындағы бу қысымы кәдімгідей p_2 = 4кПа болсын [1].

ЖЭО-ның отындық өнімді екенін көру үшін осы екі тапсырмадағы жағдайларда (ЖЭО және жекеленген ШЭС пен ЖҚ-лардың) пайдалы жұмыс еселеуіштерін анықтап салыстыру керек.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0).

Айналымның берілген нүктелерінің қажырлары h_1 = 3302 кДж/кг, h_2 = 2092 кДж/кг, h_3 = 121,4 кДж/кг (3.3 суретті қараңыз).

Турбинаға берілетін будың сағаттық шығысы

$$D = \frac{3600 \cdot 2 \cdot N_Э}{h_1 - h_2} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot 4000}{3302 - 2092} = 23760 \frac{кг}{саг} \qquad (3.27)$$

Жылулық қазандағы будың алған жылылығы:

$$Q = D(h_1 - h_3) = 23760 \cdot (3302 - 121.4) = 75.6 ГДж / саг \qquad (3.28)$$

ШЭС-тің сағаттық отын шығысы:

$$B_{шэс} = \frac{Q}{Q_т^{ж} \eta_{бк}} = \frac{75.6 \cdot 10^6}{28470 \cdot 0{,}84} = 3160 \frac{кг}{саг} \qquad (3.29)$$

Өндіріске бұрынғыдай қажетті жылылығын беретін жылулық қазанның сағаттық отын шығысы:

$$B_{жк} = \frac{Q_{өн}}{Q_т^{ж} \eta_{бк}} = \frac{79{,}1 \cdot 10^6}{28470 \cdot 0{,}84} = 3306 \frac{кг}{саг} \qquad (3.30)$$

ШЭС пен ЖҚ-ның сағаттық отын шығыстары:

$$B_{\sum} = B_{шэс} + B_{жк} \;\; 3160 + 3306 \;\; 6466 \frac{кг}{саг} \qquad (3.31)$$

Жекелеп электр қуатын және жылылық өндіретін ШЭС пен ЖҚ-ға қарағандағы ЖЭО-ның отын өнімділігі:

$$\frac{B - B_{жэо}}{B_{\sum}} = \frac{6466 - 4511}{106413} \cdot 100\% = 30.3\% \qquad (3.32)$$

ЖЭО-ның пайдалы жұмыс еселеуіші:

$$\eta_{жэо} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot N_Э + Q_{өн}}{B_{жэо} \cdot Q_т^{ж}} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot 4000 + 79{,}1 \cdot 10^6}{4511 \cdot 28470} = 0{,}840 \qquad (3.33)$$

Осы еселеуіштің екінші жолғы (жекеленген ШЭС пен ЖҚ-лардың) мәні:

$$\eta_{шэс+жк} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot N_э + Q_{\theta н}}{B_{жэо} \cdot Q_т^ж} = \frac{3600 \cdot 2 \cdot 4000 + 79{,}1 \cdot 10^6}{6466 \cdot 28470} = 0{,}586 \quad (3.34)$$

ЖЭО-ның жылу мен электр қайратын өндіруі жекеленген ШЭС пен ЖҚ-лардан 0,840/0,586 = 1,433 есе (43,3 пайызға) тиімді болды.

3.5 Тапсырма. Жаңғыртылғанжылылықтың әсерін анықтау

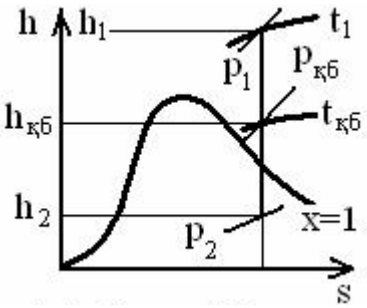
$N_э$ қуатты турбина көрсеткіштері $p_1 = 3{,}5 + 0{,}1m + 0{,}05n$ МПа, $t_1 = 435 + m + n$ ^{0}C, $p_2 = 4$ кПа. Бу қазанына берілетін қорек (питательная) суды қыздыруға турбинадан $p_{кб} = 0{,}12$ МПа қысымды бу алынады.

Бу мен жылылықтың меншікті шығыстарын және қайтымды Ренкин айналымының пайдалы жұмыс еселеуішін және жаңғыртылған (қайрылған) жылылықтың әсерін анықтап, талдау керек.

Тапсырма шешімінің негізгі мысалы (m = n = 0).

Су мен су буының жылу физикалық қасиеттерінің hs–сызбасы мен [3] анықтамасы бойынша келесі есепке қажетті көрсеткіштерді анықтаймыз $h_1 = 3302$ кДж/кг, $h_{кб} = 2538$ кДж/кг, $h_2 = 2092$ кДж/кг, $h'_{кб} = 439{,}4$ кДж/кг, $h'_2 = 121{,}4$ кДж/кг, $t''_2 = 29$ ^{0}C, $t'_{кб} = 104{,}8$ ^{0}C (3.3 пен 3.4 суреттерді қараңыз) [1].

Қайрылған будың үлесін жылылық теңестігінен, араластырғышта қорек суы $p_{кб}$ -дағы қанығу температурасы $t'_{кб}$-ға дейін қыздырылады деп, анықтаймыз.



3.4 сурет- Қажыр өзгерісінің сұлбасы

$$a = \frac{h_{кб}' - h_2'}{h_{кб} - h_2'} = \frac{439{,}4 - 121{,}4}{2538 - 121{,}4} = 0.13 \quad (3.35)$$

мұндағы (кДж/кг) $h_{кб}$ - шығырдың алуындағы будың қажыры;

$h'_{кб}$ мен h'_2 – $p_{кб}$ мен p_2–лердегі қаныққаншықтардың қажырлары.

Жаңғыртулы айналымдағы 1 кг будың пайдалы жұмысы

$$l_{кб} = h_1 - h_2 - a(h_{кб} - h_2) = 3302 - 2092 - 0.13(2538 - 2092) = 1152 кДж/кг \quad (3.36)$$

Бу мен жылылықтың меншікті шығындары:

$$d_{кб} = \frac{3600}{l_{кб}} = \frac{3600}{1152} = 2.12 \frac{кг}{кВт \cdot саг} \qquad (3.37)$$

$$q_{кб} = d_{кб}(h_{кб} - h_{кб}') = 3.12(3302 - 439.4) = 8938 кДж/(кВт \cdot саг) \qquad (3.38)$$

Қайрылған жылылықты Ренкин айналымының қайтымды ПЖЕ-сі

$$\eta_{кж} = \frac{l_{кб}}{h_1 - h_{кб}'} = \frac{1152}{3302 - 439.4} = 0.40 \qquad (3.39)$$

Қайрылған жылылығы жоқ Ренкин айналымының қайтымды ПЖЕ-сі

$$\eta_к = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} = \frac{3302 - 2092}{3302 - 121.4} = 0.38 \qquad (3.40)$$

Қайрылған жылылықтың әсері

$$\frac{\delta\eta_{кж}}{\eta_к} = \frac{\eta_{кж} - \eta_k}{\eta_к} \cdot 100 = \frac{0.40 - 0.38}{0.38} \cdot 100 = 5.26\% \qquad (3.41)$$

Бақылау сұрақтары

1 Отынды үнемдеу мен қоршаған ортаны сақтаудың маңыздылығы.

2 Жылуқозғалымдық айналымдардың ең тиімді түрлері.

3 ЖЭО-ның өнімділік көрсеткіштері.

4 Жылу электр станцияларының негізгі қағидалы сүлбелері.

5 Су мен су буының жылу физикалық қасиеттерінің hs – сызбағы.

6 Ренкин айналымының пайдалы жұмыс еселеуіштері мен жылулық және шықтық электр станциялардың отын шығындарын анықтау есебі.

7 ЖЭО-ның сағаттық отын шығынын анықтау есебі.

8 ЖЭО айналымының отын өнімділігін анықтау есебі.

9 Қайрылған жылулықтың әсерін анықтау есебі.

А қосымшасы

А.1 кесте – Құрғақ ауаның физикалық қасиеттері (В =760 мм сн. бағ. = 1,01 ·10^5 Па, [6]-ның 9 кестесі)

t, °С	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг·К)	λ·10^2, Вт/(м·К)	a -10^6, м^2/с	μ· 10^6, Па·с	ν·10^6, м^2/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	2,33	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	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,98	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
0	1,060	1,006	2,93	26,2	20,1	18,97	0.696
70	1,029	1,007	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
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	30,0	0,682
180	0 779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047'	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,03	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706

800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

Б қосымшасы

Б.1 кесте – Судың қанығу күйіндегі физикалық қасиеттері ([6], 11 кесте)

t, °C	$p\cdot10^{-5}$, Па	ρ, $\frac{кг}{м^3}$	i', $\frac{кДж}{кг}$	c_p, $\frac{кДж}{кг\cdot К}$	$\lambda\cdot10^2$ $\frac{Вт}{м\cdot К}$	$a\cdot10^6$, $\frac{м^2}{с}$	$\mu\cdot10^6$, Па·с	$\nu\cdot10^6$, $\frac{м^2}{с}$	$\beta\cdot10^4$, $К^{-1}$	$\sigma\cdot10^4$, $\frac{Н}{м}$	Pr
0	1,013	993,9	0	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	1306	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	693,5	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	632,2	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	5484	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	436,0	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	837,7	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
240	33,48	813,6	1037,5	4,756	62,8	16.2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	6l,8	15,9	109,9	0,137	l8,l	261,9	0,86
260	46,94	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,7	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	2l,6	214,8	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23.7	191,3	0,90

290	74,45	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26-2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1344.9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	98,70	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,9	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,5	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22

В қосымшасы

Б.1 кесте – Су буының қанығу күйіндегі физикалық қасиеттері ([6]-ның 12 кестесі)

t, °C	p 10^{-5}, Па	ρ'', $\frac{кг}{м^3}$	i'', $\frac{кДж}{кг}$	r, $\frac{кДж}{кг}$	c_p, $\frac{кДж}{кг \cdot К}$	$\lambda \cdot 10^2$, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	$a \cdot 10^6$, $\frac{м^2}{с}$	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, $\frac{м^2}{с}$	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	2230,0	2,177	2,489	13,83	12,46	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2706,5	2202,8	2,206	2,593	10,50	12,85	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2720,7	2174,3	2,257	2,686	7,972	13,24	8,85	1,11
140	3,61	4,966	2734,1	2145,0	2,315	2,791	6,130	13,54	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2746,7	2114,4	2,395	2,884	4,728	13,93	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2758.0	2082,6	2,479	3,012	3,722	14,32	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2768,9	2049,5	2,583	3,128	2,939	14,72	3,57	1,22
180	10,03	5,157	2778,5	2015,2	2,709	3,268	2,339	15,11	2,93	1,25
190	12,55	6,394	2786,4	1978,8	2,856	3,419	1,872	15,60	2,44	1,30
200	15,55	7,862	2793,1	1940.7	3,023	3,547	1,492	15,99	2,03	1,36
210	19.08	9,588	2798,2	1900.5	3,199	3,722	1,214	16,38	1,71	1,41
220	23,20	11,62	2801,5	1857,8	3,408	3,896	0,983	16,87	1,45	1,47
230	27,98	13,99	2803,2	1813,0	3,634	4,094	0,806	17,36	1,24	1,54
240	33,48	16,76	2803,2	1765,6	3,881	4,291	0,658	17,76	1,06	1,61
250	39,78	19,98	2801,1	1715,8	4,158	4,512	0,544	18,25	0,913	1,68
260	46,94	23,72	2796,5	1661,4	4,468	4,803	0,453	18,84	0,794	1,75
270	55,05	28,09	2789,8	1604,4	4,815	5,106	0,378	19,32	0,688	1,82
280	64,19	33,19	2779,7	1542,9	5,234	5,489	0,317	19,91	0,600	1,90
290	74,45	39,15	2766,4	1476,3	5,694	5,827	0,261	20,60	0,526	2,01
300	85,92	46,21	2749,2	1404,3	6,280	6,268	0,216	21,29	0,461	2,13
310	98,70	54,58	2727,4	1325,2	7,118	6,808	0,176	21,97	0,403	2,29
320	112,90	64,72	2700,2	1238,1	8,206	7,513	0,141	22,86	0,353	2,50
330	128,65	77,10	2685,9	1139,7	9,881	8,257	0,108	23,94	0,310	2,86
340	146,08	92,76	2621,9	1027,0	12,35	9,304	0,0811	25,21	0,272	3,35
350	165,37	113,6	2564,5	893,1	16,24	10,70	0,0580	26,58	0,234	4,03
360	186,74	144,0	2481,2	719,7	23,03	12,79	0,0386	29,14	0,202	5,23
370	210,53	203,0	2330,9	438,4	56,52	17,10	0,0150	33,75	0,166	11,10

Г қосымшасы

Г.1 кесте – Түтіннің физикалық қасиеттері (p_0 = 760 мм сн.б. = 1,01325·10^5 Па, p_{CO2} = 0,13,p_{H2O} = 0,11, p_{N2} = 0,76, [6]-ның 16 кестесі)

t, ^{0}C	ρ, кг/м^3	c_p, кДж/(кг·К)	λ·10^2, Вт/(м·К)	a·10^6, м^2/с	μ·10^6, Па·с	ν·10^6, м^2/с	Pr
0	1,295	1,042	2,28	16,9	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,9	24,5	32,80	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,9	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,3	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	121,1	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,9	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,8	40,7	112,1	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,7	43,4	131,8	0,60
900	0,301	1,290	10,0	258,0	45,9	152,5	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,4	48,4	174,3	0,58
1100	0,257	1,323	11,75	345,5	50,7	197,1	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,4	53,0	221,0	0,56

Әдебиеттер тізімі

Негізгі

1 Темірбаев Д.Ж. Жылумаңызалмасу: Оқу құралы. - Алматы: «TST – company», 2009. – 240 б.

2 Мұсабеков Р.А., Байбекова В.О. Техникалық термодинамика: Жылукүштік айналымдарды және термодинамикалық құбылыстарды есептеу Жылуэнергетика мамандықтарының барлық оқу түрлерінің студенттері үшін есептік сызба жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқау.-Алматы: АЭжБУ, 2011.-34б.

3 Темірбаев Д.Ж. Жылутехника негіздері: Дәрістер жинағы. – Алматы: АЭжБИ, 2010. – 72 б.

Қосымша

1 Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 280 с.

2 Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.

3 Зубарев В. Н., Александров А. А., Охотин В. С. Практикум по технической термодинамике. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.

4 Александров А.А., Григорьев Б.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Сравочник. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 160 с.

2019ж.жиынтық жоспары, реті 74

Байбекова Вера Оразалиевна
Расмухаметова Айнур Сериковна

ЖЫЛУТЕХНИКАСЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

5В081200 – Ауыл шаруашылығын энергиямен қамтамасыз ету мамандығының студенттері үшін есепті-сызба жұмысттарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Редактор Ж.Н. Изтелеуова
Стандарттау бойынша маман Ж.Н. Изтелеуова

Басуға __ __ __ қол қойылды
Таралымы 50 дана
Көлемі 2,13 есептік-баспа табақ

Пішімі 60х84 1/16
Баспаханалық қағаз № 1
Тапсырыс___ .Бағасы 1060 теңге.

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс унсиверситеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірмелі-көбейткіш бюросы.
050013, Алматы, Байтурсынұлы көшесі, 126/1