



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **68585** (13) **C2**  
(51) МПК (2006)  
H02J 1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

**(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕПЛОВІЙ УСТАНОВЦІ ЗА ТРЬОМА ТЕПЛОСИЛОВИМИ ЦИКЛАМИ**

1

**(21)** 2003087442**(22)** 06.08.2003**(24)** 15.03.2006**(46)** 15.03.2006, Бюл. № 3, 2006 р.**(72)** Газа Василь Михайлович**(73)** Газа Василь Михайлович**(56)** US 3436911, 1969

US 4502277, 1985

JP 59180012, 1984

UA 68584, 2004

US 3307350, 1967

US 4502277, 1985

**(57)** 1. Спосіб виробництва електричної енергії у тепловій установці за трьома теплосиловими циклами, що включає використання парогазової і паросилової установок, які містять високотемпературну, середньотемпературну та низькотемпературну частини, який **відрізняється** тим, що процес виробництва електричної енергії у тепловій установці проводять з різними робочими тілами, а саме: продуктами згорання палива у високотемпера-

2

турній частині установки і перегрітою водяною парою у середньотемпературній частині установки, а також перегрітою парою легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння у низькотемпературній частині установки з одночасним утворенням у випарнику низькотемпературної частини установи насиченої пари легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння за рахунок відбору теплоти від частково відпрацьованої у турбіні водяної пари при її конденсації з підвищеним тиском у конденсаторі середньотемпературної частини установки.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що процес утворення насиченої пари легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння проводять у випарнику низькотемпературної частини установи, при цьому теплоту відбирають від конденсатора середньотемпературної частини установи, а отриману насичену пару легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння направляють у пароперегрівник для її перегрівання.

Винахід відноситься до галузі промисловості електроенергетики і може бути використаний для виробництва електричної енергії на тепловій електричній станції (ТЕС).

Відомий спосіб виробництва електричної енергії на парогазовій установці (ПГУ), яка працює за бінарним циклом з різними робочими тілами і складається з двох частин:

частиною високих температур в якій використовують продукти горіння рідких або газоподібних палив, а робочим тілом є продукти згорання цих палив - тобто газу;

частиною низьких температур в якій використовують, як робоче тіло, водяний пар.

На теперішній час розроблено і працює велика кількість різноманітних ПГУ, які відрізняються як у газовій так і в паросилової частині. ПГУ мають к.к.д. - 46-48% і порівняно з паросиловими рівної одиничної потужності і з однаковими параметрами пари дозволяють зменшити витрату палива на 6-8%. Збільшення к.к.д. ПГУ обмежено із-за відсут-

ності можливості підвищення середньої температури підвода теплоти. Біля 45% тепла витрачається ПГУ в конденсаторі, яке віддають охолодженій воді [1], [2].

Метою цього винаходу є:

збільшення к.к.д. теплової установи;

збільшення економічної ефективності ТЕС;

зменшення питомої витрати палива на виробництво 1квт. години електричної енергії;

зменшення втрат тепла з охолодженою водою у конденсаторі.

Сутність способу виробництва електричної енергії у тепловій установці, що працює за трьома теплосиловими циклами полягає в застосуванні за новим призначенням і комбінуванні газотурбінної установи - газового циклу з тепловою установкою, яка працює за двома паросиловими циклами [3], [4].

Поставлену мету досягають тим, що процес виробництва електричної енергії у тепловій установці за трьома теплосиловими циклами прово-

(13) **C2**(11) **68585**(19) **UA**

дять в окремих частинах установки з різними робочими тілами, а саме:

продуктами згоряння палива у високотемпературній частині установки;

перегрітим водяним паром у середньотемпературній частині установки;

перегрітим паром робочого тіла киплячого при низькій температурі у низькотемпературній частині установки. Цим підвищують середній температурний рівень підведення теплоти і збільшують спрацювання температурного теплоперепада силовими турбінами, що значно зменшує втрати тепла на 1квт. годину відпущеної електроенергії з охолодженою водою у конденсаторі. При цьому, термічний к.к.д. способу виробництва електричної енергії у теплової установці, що працює за трьома теплосиловими циклами досягає 75%, а цим самим питому витрату палива зменшують на 35-50%.

Сутність винаходу доводиться на наведеному нижче прикладі і розрахунками з ілюстрацією на фіг.1 та фіг.2, а в якості робочого тіла, що кипить при низькій температурі, використовується аміак.

Основне обладнання теплової установи наведено на тепловій схемі фіг.1: 1 - парогенератор; 2 - пароперегрівник водяної пари; 3 - турбіна водяної пари; 4 - електрогенератор; 5 - конденсатор-випарник; 6 - насос живильної води; 7 - газова турбіна; 8 - турбокомпресор; 9 - газова турбіна; 10 - електрогенератор; 11 - пароперегрівник аміачної пари; 12 - турбіна аміачної пари; 13 - електрогенератор; 14 - конденсатор відпрацьованого аміачного пара; 15 - живильний аміачний насос. Процес виробництва електричної енергії у теплової установці, що працює за трьома теплосиловими циклами, - фіг.1 та фіг.2, слідує: повітря з атмосфери засмокують турбокомпресором 8, де його стискають до тиску  $P_1''$  (стан 2" - фіг.2 на TS-діаграмі) та подають в топку парогенератора 1, де разом з паливом проводять процес горіння при постійному тиску. Утворені у топці продукти згоряння палива направляють в газову турбіну 9 (стан 3"), де при розширенні вони виконують корисну роботу обертаючи ротор турбіни і електрогенератора 10. Відпрацьовані продукти згоряння палива від газової турбіни (стан 4") подають у верхній теплообмінник 7 для підігріву живильної води, а далі їх виводять в атмосферу (стан 1"). Підігріту живильну воду подають у парогенератор 1, де доводять її нагрівання до температури кипіння (стан 4) і заодно перетворюючи її у насичений водяний пар (стан 5). Після цього, насичену водяну пару направляють в пароперегрівник 2, де здійснюють її перегрів до температури  $t_1$  (стан 1). Перегрітий водяний пар з параметрами  $P_1$  і  $t_1$  направляють у парову турбіну 3, де вона розширюється (стан 2) виконуючи корисну роботу заодно обертаючи ротор електрогенератора 4. Від турбіни відпрацьована водяна пара з параметрами  $P_2$  і  $t_2$  надходить у верхній теплообмінник, а саме у конденсаторну частину конденсатора-випарника 5, де вона повністю конденсується (стан 3) за рахунок віддачі прихованого тепла пароутворення рідкому аміаку, що знаходиться у випарній частині. Водяний конденсат всмокують живильним насосом 6 і при тиску  $P_1$  його прокачують через тепло-

обмінник 7 у парогенератор 1. У випарній частині конденсатора-випарника 5, за рахунок відбору тепла від водяної пари при її конденсації, рідкий аміак нагрівають до температури кипіння  $t_a$  утворюючи з нього насичений аміачний пар при тиску  $P_{1a}$  (стан 5'). Утворений насичений аміачний пар направляють у пароперегрівник 11, де доводять його температуру до перегріву  $t_{1a}$  (стан 1'). З пароперегрівника перегрітий аміачний пар подають у парову аміачну турбіну 12, де його розширюють до тиску  $P_{2a}$  знижуючи температуру до  $t_{2a}$  (стан 2'), виконуючи заодно корисну механічну роботу - обертаючи ротор турбіни і ротор електрогенератора 13. Відпрацьований аміачний пар при тиску  $P_{2a}$  подають у конденсатор 14, через трубки якого прокачують охолоджену воду. В конденсаторі аміачний пар повністю конденсується (стан 3') за рахунок віддачі прихованої теплоти пароутворення охолодженій воді. Утворений аміачний конденсат всмокують аміачним живильним насосом 15, при цьому підвищують його тиск до  $P_{1a}$  і подають у випарну частину конденсатора-випарника 5 (стан 4').

Термічний к.к.д. теплової установи, що працює за трьома теплосиловими циклами, при слідує вихідних даних:

$T_1=293K$  - температура повітря на вході у турбокомпресор;

$$\beta = \frac{P_2''}{P_1} = 4,8 \text{ - ступінь стиску повітря у турбокомпресорі};$$

$T_3=1053K$  - температура продуктів згоряння палива за парогенератором;

$T_1' = 373K$  - температура виходящих газів за теплообмінником 7;

$P_1=13MPa$  - початковий тиск перегрітої водяної пари;

$t_1=565^\circ C$  - температура перегрітої водяної пари;

$i_1=3520kJ/kg$  - ентальпія перегрітої водяної пари (знаходять по iS діаграмі для водяної пари М.П. Вукалович);

$P_2=0,05MPa$  - тиск конденсації водяної пари;

$t_2=81,33^\circ C$  - температура конденсації водяної пари;

$i_2=2325kJ/kg$  - ентальпія водяної пари за турбіною (знаходять по iS діаграмі для водяної пари при  $x=0,856$  вологості);

$i_2' = 340,5kJ/kg$  - ентальпія конденсату водяної пари (знаходять по таблиці сухої насиченої пари і води);

$t_a = 76^\circ C$  - температура кипіння аміаку у випарній частині конденсатора-випарника;

$P_{1a}=3,798MPa$  - тиск при якому відбувається кипіння, пароутворення і перегрів аміаку (знаходять по таблиці властивостей  $NH_3$  на лінії насичення при  $t_a$ );

$i_{1a} = 1676,7kJ/kg$  - ентальпія сухої насиченої пари аміаку (знаходять по таблиці властивостей  $NH_3$  на лінії насичення);

$i_{2a} = 522,4 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія конденсату аміачної пари за конденсатором при температурі конденсації  $t_{2a} = 26^\circ\text{C}$  (знаходять по таблиці властивостей  $\text{NH}_3$  на лінії насичення);

$P_{2a} = 1,035 \text{ МПа}$  - тиск аміачної пари за турбіною при  $t_{2a} = 26^\circ\text{C}$  (знаходять по таблиці властивостей  $\text{NH}_3$  на лінії насичення);

$t_{1a} = 350^\circ\text{C}$  - температура перегріву аміачної пари;

$i_{1a} = 2492 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія перегрітої аміачної пари (знаходять по ІР діаграмі аміаку для параметрів  $t_{1a}$  і  $P_{1a}$ );

$i_{2a} = 1500 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія аміачної пари за турбіною при степені сухості  $x = 0,82$  (знаходять по ІР діаграмі аміаку);

$i_1 = 1015 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія живильної води за теплообмінником;

продукти згоряння палива приймають по своїм теплофізичним властивостям схожими до властивостей повітря.

Температура в характерних точках 2" і 4" високотемпературної частини теплової установки, що працює за трьома теплосиловими циклами:

$$T_2 = T_1 \cdot \beta^{\frac{k-1}{k}} = 293 \cdot 4,8^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 458,7 \text{ К } (185,5^\circ\text{C});$$

$$T_4 = T_3 \frac{T_1}{T_2} = \frac{1053 \cdot 293}{458,7} = 672,6 \text{ К } (399,5^\circ\text{C}).$$

Кратність циркуляції газу -  $n$  по відношенню до води, тобто, це кількість кілограмів продуктів згоряння палива, яка припадає на 1 кг води, знаходять із теплового балансу теплоти теплообмінника 7 для підігріву живильної води,

$$n = \frac{i_1 - i_2}{C_p (T_4 - T_1)} = \frac{1015 - 340,5}{1,035 (672,6 - 373)} = \frac{674,5}{310,086} = 2,175$$

де:  $C_p = 1,035 \text{ кДж/кг К}$  - середня масова теплоємність газу при  $P = \text{const}$ .

З теплового балансу конденсатора-випарника 5 знаходять кратність циркуляції аміаку -  $m$ , тобто, це кількість аміаку в кг низькотемпературної частини теплової установки, яка приходить на 1 кг води середньотемпературної частини теплової установки,

$$m = \frac{i_2 - i_{2a}}{i_{1a} - i_{2a}} = \frac{2325 - 340,5}{1676,7 - 522,4} = 1,72.$$

Корисна робота газового циклу високотемпературної частини теплової установки,  $I_r = \eta [C_p (T_3 - T_4) - C_p (T_2 - T_1)] = 2,175 [1,1137 (1053 - 672,6) - 1,0226 (458,7 - 293)] = 2,175 (423,65 - 169,44) = 552,9 \text{ кДж/кг}$ .

Корисна робота перегрітої водяної пари в середньотемпературній частині теплової установки,  $I_a = i_1 - i_2 = 3520 - 2325 = 1195 \text{ кДж/кг}$ .

Корисна робота перегрітої аміачної пари в низькотемпературній частині теплової установки,  $I_a = m (i_{1a} - i_{2a}) = 1,72 (2492 - 1500) = 1706,24 \text{ кДж/кг}$ .

Теплота, яку підводять у високотемпературній частині теплової установки,

$$q_r = \eta [C_p (T_3 - T_2)] = 2,175 [1,0908 (1053 - 458,7)] = 2,175 \cdot 648,26 = 1410 \text{ кДж/кг}.$$

Теплота, яку підводять у середньотемпературній частині теплової установки,

$$q_b = i_1 - i_{1a} = 3520 - 1015 = 2505 \text{ кДж/кг}.$$

Теплота, яку підводять у низькотемпературній частині теплової установки,

$$q_a = m (i_{1a} - i_{2a}) = 1,72 (2492 - 1676,7) = 1402,3 \text{ кДж/кг}.$$

Отже, визначають термічний к.к.д. теплової установки, що працює за трьома теплосиловими циклами із слідуячого рівняння,

$$\eta_t = \frac{I_r + I_b + I_a}{q_r + q_b + q_a} = \frac{552,9 + 1195 + 1706,24}{1410 + 2505 + 1402,3} = \frac{3454,14}{5317,3} = 0,65.$$

Джерела інформації

1. Трубилов М.А., Арсеньев Г.В., Фролов В.В. и др. Под ред. Костюка А.Г., Фролова В.В. Паровые и газовые турбины. М., Энергоатомиздат, 1985, гл.12.9, С.276-279.

2. Швець І.Т., Толубінський В.І., Кіраковський М.Ф., Недужий І.О., Шелудько І.М. Теплотехніка., В-во "Вища школа", Київ, 1969, част.1 - 41, с.96-98.

3. Трубилов М.А. и др. Под ред. Костюка А.Г., Фролова В.В. Паровые и газовые турбины. М., Энергоатомиздат, 1985, гл.12.1-12.9, С.258-279, гл.13.1-13.8, С.279-303.

4. Газа В.М. Заявка в Укрпатент за №2003087441 від 06 серпня 2003 року на "Спосіб виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами".

5. Вукалович М.П., Новиков И.И., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М., И-во стандартов, 1969.

6. Варгафтик Н.Б., Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Наука, 1972 -Термодинамические свойства аммиака на линии насыщения.

7. Бучко Н.А. и др. Теплофизические основы получения искусственного холода. Справочник. М., "Пищевая пр-ть", 1980. Приложение 1 - Свойства  $\text{NH}_3$  на линии насыщения, С.182-184.

8. ІР діаграма аміаку -  $i$ ,  $P$  - діаграма амміака.

9.  $iS$  діаграма для водяної пари М.П. Вукалович -  $i$ ,  $S$  - діаграма для водяного пара до  $700^\circ\text{C}$  і  $100 \text{ МПа}$  по М.П. Вукаловичу.

10. Швець І.То і інші. Теплотехніка. В-во "Вища школа", Київ, 1969, додаток 2, таблиця 2, С.581-583.

11. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика. Изд. 2-е. М., "Энергия", 1974.

