



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 68584

(13) C2

(51) МПК (2006)  
H02J 1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕПЛОВІЙ УСТАНОВЦІ ЗА ДВОМА ПАРОСИЛОВИМИ ЦИКЛАМИ

1

2

(21) 2003087441

(22) 06.08.2003

(24) 15.08.2006

(46) 01.08.2006, Бюл. №8, 2006р.

(72) Газа Василь Михайлович

(73) Газа Василь Михайлович

(56) Швець І.Т., Толубінський В.І., Кіраковський М.Ф., Недужий І.О., Шелудько І.М. Теплотехніка. - К.: Вища школа, 1969. - С. 86-96.

Андрианова Т.Н., Дзампов Б.В., Зубарев В.Н., Ремизов С.А. Сборник задач по технической термодинамике. - М.: Энергоиздат, 1981. - С.155.

(57) 1. Спосіб виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з високотемпературною та низькотемпературною частинами, який **відрізняється** тим, що процес проводять одночасно за двома паросиловими циклами з перегрітою водяною парою у високотемпературній частині установки і перегрітою парою

легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння у низькотемпературній частині установки, при цьому одночасно відбувається процес утворення насиченої пари легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння у випарнику низькотемпературної частини установки, насичену пару утворюють за рахунок відбору теплоти від частково відпрацьованої у турбіні водяної пари при її конденсації з підвищеним тиском у конденсаторі високотемпературної 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 установки, при цьому відбирають теплоту від конденсатора високотемпературної частини установки, а отриману насичену пару легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння направляють у пароперегрівник для її перегріву.

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

Відомий спосіб виробництва електричної енергії на ТЕС і АЕС за допомогою паросилової установки - паротурбінної теплосилової установки [6]. Паротурбінна теплосилова установка є двигуном у якому потенціальна енергія водяної пари перетворюється у механічну роботу - обертаючи ротор електрогенератора. Водяну пару використовують у паровій турбіні в якості робочого тіла.

Відомі способи з використанням комбінованих теплосилових установок з двома робочими тілами, тобто, які працюють за так званим бінарним циклом:

- ртутно-водяним [Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е. Техническая термодинамика. - Изд.2-е. - М.: Энергия, 1974. - гл.11-6. - С.343-346.];

- парогазовим [Швець І.Т., Толубінський В.І., Кіраковський М.Ф., Недужий І.О., Шелудько І.М.

Теплотехніка. - К.: Вища школа, 1969. - Розд. IX. - С.96-98.];

- вода-фреон-12 [Андрианова Т.Н., Дзампов Б.В., Зубарев В.Н., Ремизов С.А. Сборник задач по технической термодинамике. - Изд. 3-е. - М.: Энергоиздат, 1981. - гл.14.36. - С.155.].

Існує бінарна паросилова установка в якій використовують у високотемпературній частині робоче тіло - водяну пару, а в низькотемпературній частині установки робоче тіло - насичену пару фреону - 12. Легкокипляча рідина фреон-12 кипить при низьких температурах. Установку застосовують у північних районах земної кулі при сильних морозах. До цього часу бінарні теплові установки не знайшли широкого застосування, за виключенням парогазової, головним чином по технічних причинах та із-за великих фінансових затрат на їх спорудження, а також із-за низького ККД. При існуючому способі виробництва електричної енергії на теплосиловій установці ТЕС і АЕС наявні суттєві недоліки:

- великі - понад 50% втрати тепла в конденсаторі, яке віддають охолоджуючій воді;

(13) C2

(11) 68584

(19) UA

- низький ККД ТЕС, який досягає всього 35-41%;
- великі втрати тепла в деаераторі;
- здійснюється всмоктування повітря турбіною, конденсаційним насосом із-за підтримання глибокого вакууму в конденсаторі;
- значні втрати тиску із-за тертя при проходженні найбільшої об'ємної частки водяної пари в проточній частині останніх східців парової турбіни;
- механічна міцність робочих лопаток останніх східців турбіни знаходиться на граничній межі із-за великої їх висоти;
- велике ерозійне зношення останніх східців соплових і робочих лопаток турбіни водяної пари;
- обмежено використання середнього температурного теплового перепаду;
- значні втрати тепла із-за наявності у тепловій схемі великої кількості підігрівників конденсату і живильної води;
- великі капіталовкладення на 1 кіловат потужності при спорудженні ТЕС і АЕС.

Метою цього винаходу є:

- зменшення в 2-е рази питомої витрати палива на відпуск 1кВт·год.. електричної енергії;
- зменшення втрат тепла в конденсаторі з охолоджуючою водою з розрахунку на 1кВт·год. відпущеної електричної енергії;
- зменшити капіталовкладення на 1кВт. встановленої потужності ТЕС і АЕС;
- збільшити ККД ТЕС до 65%, а також АЕС;
- збільшити тиск конденсації водяної пари;
- збільшити середній температурний рівень підведення теплоти у паросиловому циклі;
- збільшити використання середнього температурного перепаду;
- зменшити кількість підігрівників у тепловій схемі водяної частини ТЕС і АЕС;
- спростити спосіб виробництва електричної енергії у пароводяній частині паросилової установи;
- збільшити економічність і ефективність виробництва електроенергії у тепловій паросиловій установці.

Перевага винаходу полягає в тому, що тиск у конденсаторі при конденсації відпрацьованої водяної пари збільшують, із-за чого зменшують просочення повітря у турбіну, конденсатор і конденсаційний насос. При конденсації водяної пари в конденсаторі від 100°C тиск пари стає вищим за атмосферний, а цим зменшують витрати тепла в деаераторі, зменшують вологість пари на останніх східцях турбіни, зменшують ерозійне зношення робочих і соплових лопаток турбіни і одночасно зменшують їх розміри.

Сутність винаходу полягає у тому, що процес виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з використанням різних робочих тіл проводять у двох окремих частинах установки - перегрітим водяним паром у високотемпературній частині установки і перегрітим паром робочого тіла легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння у низькотемпературній частині установки. Комбінованим і одночасним способом перегріву пари робочих тіл розширюють середній температурний рівень під-

вода теплоти в установці із-за чого збільшують використання загального температурного теплового перепаду.

Для досягнення мети, яка поставлена в способі виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з різними робочими тілами, застосовують у низькотемпературній частині установки перегрітий пар робочого тіла рідина якого кипить при низьких температурах, має добрі термодинамічні властивості, а також зменшують відвід тепла в конденсаторі з охолоджуючою водою на 1кВт·год. відпущеної електричної енергії. При цьому, витрату охолоджуючої води в конденсаторі для конденсації пари зменшують.

Утворену в парогенераторі насичену водяну пару направляють у пароперегрівник парогенератора. Застосовують одноразовий, або дворазовий (вторинний, проміжний) перегрів водяної пари. Суть дворазового перегріву робочого пара полягає в тому, що пар після розширення у перших східцях турбіни при постійному тиску піддається вторинному перегрівові в другому пароперегрівнику парогенератора до заданої температури, а потім його направляють у наступні східці турбіни де проводять його розширення до тиску конденсації водяної пари в конденсаторі. Насичену пару легкокиплячої рідини з низькою температурою кипіння утворюють у випарнику конденсатора-випарника низькотемпературної частини установки за рахунок відбору теплоти від конденсованої водяної пари у високотемпературній частині. Утворений у випарнику насичений пар низькотемпературної частини установки подають на перегрів у пароперегрівник. Суть одноразового перегріву пари легкокиплячої рідини полягає у тому, що пар після пароперегрівника подають у турбіну, де вона розширюється до кінцевого тиску конденсації.

Сутність винаходу пояснюють наступним прикладом - для якого в низькотемпературній частині установки використовують у якості робочого тіла - аміак. Аміак - легкокипляча рідина, що кипить при температурі мінус 33,4°C. Аміак, як робоче тіло, задовольняє певним термодинамічним вимогам:

- має значний перепад тисків насичення у випарнику при кипінні і при конденсації у конденсаторі;
- має високі критичні параметри тиску і температури;
- має тиск насичення при конденсації вищий за атмосферний.

Аміак володіє добрими термодинамічними властивостями і дає відносно невисокі тиски в циклі. Конденсацію відпрацьованої пари в конденсаторі після аміачної турбіни проводять при тисках у межах від 0,2 до 1,4МПа. Аміак застосовують у медицині, промисловості і сільському господарстві. У природі аміак діє на навколишнє середовище - як розкислювач після випадання кислотних опадів. Перевага аміаку полягає і в тому, що незначна частка концентрації його в повітрі відносно легко виявляється людиною і тому отруєння від нього можна попередити. Лише при температурі меншій за мінус 33,4°C тиск аміаку стає нижчим за атмосферний.

Таблиця

## Термодинамічні і фізико-хімічні властивості робочих тіл

Робоче тіло	Хімічна формула	Молекулярна вага	Нормальна температура кипіння, °C	Критична температура, °C	Критичний тиск, МПа	Температура замерзання, °C
Вода	H <sub>2</sub> O	18,016	+100	+374	22,13	0,00
Аміак	NH <sub>3</sub>	17,03	-33,4	+132,4	11,35	-77,7

Для прикладу на кресленні наведена принципова теплова схема способу виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з різними робочими тілами. У парогенераторі 1 утворюють насичену водяну пару при тиску насичення -  $P_1$  і температурі кипіння. Насичену водяну пару направляють у пароперегрівник 2, де проводять його перегрівання до заданої температури  $t_1$ . Перегріту водяну пару з параметрами  $P_1$  і  $t_1$  подають у парову турбіну 3 де її розширюють до тиску  $P_2$  обертаючи ротор турбіни і заодно ротор електричного генератора 4. Відпрацьовану водяну пару з параметрами  $P_2$  і  $t_2$  від турбіни відводять у конденсатор-випарник 5, де здійснюють її конденсацію з підвищеним тиском  $P_2$  при температурі  $t_2$ . Далі, за допомогою конденсаційного насоса 6, конденсат при тиску  $P_1$  подають у парогенератор 1. У конденсаторі-випарнику 5, який являє собою поверхневий теплообмінник, виконують конденсацію водяної пари за рахунок віддачі прихованого тепла киплячій аміачній рідині з якої утворюють насичену аміачну пару при постійній температурі і тиску. Отже, у конденсаторі відбирають тепло від водяної пари при підвищеному тиску і при цьому перетворюють її у водяний конденсат з параметрами  $P_2$  і  $t_2$ , а відібране тепло використовують у випарній частині для нагрівання рідкого аміаку з якого утворюють насичений аміачний пар при тиску  $P_{1a}$ , після чого його подають у пароперегрівник аміачної пари 7, де доводять перегрівання аміачної пари до температури  $t_{1a}$  при тиску  $P_{1a}$ . Перегрітий аміачний пар з параметрами  $P_{1a}$  і  $t_{1a}$  подають у парову аміачну турбіну 8, де проводять його розширення і при цьому здійснюють корисну роботу обертаючи ротор турбіни і заодно ротор електрогенератора 9. Від турбіни відпрацьований аміачний пар з параметрами  $P_{2a}$  і  $t_{2a}$  направляють у конденсатор 10, де його конденсують за рахунок віддачі тепла охолодній воді. Конденсатор 10 являє собою поверхневий теплообмінник. Аміачний конденсат за допомогою конденсаційного аміачного насоса 11 при тиску  $P_{1a}$  подають у випарну частину конденсатора-випарника 5.

Термічний коефіцієнт корисної дії (ККД) -  $\eta_t$  способу виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з різними робочими тілами, без регенерації тепла, знаходять за допомогою наступного рівняння:

$$\eta_t = \frac{L_B + L_a \cdot m}{Q_B + Q_a \cdot m},$$

де:  $L_B$  - робота, яку виконують в установці 1кг водяної пари;

$L_a$  - робота, яку виконують 1кг аміачної пари;

$m$  - кратність циркуляції аміаку, що показує, яка кількість аміаку в кг приходить на 1кг води;

$Q_B$  - кількість тепла підведеного у високотемпературній частині теплової установки на утворення 1кг перегрітої водяної пари;

$Q_a$  - кількість тепла підведеного в низькотемпературній частині теплової установки на утворення 1кг перегрітої аміачної пари.

Визначають роботу, яку виконують у високотемпературній частині теплової установки 1кг водяної пари:

$L_B = i_1 - i_2 = 3520 - 2325 = 1195 \text{ кДж/кг}$ , де:

$i_1 = 3520 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія перегрітої водяної пари за пароперегрівником при  $P_1 = 13 \text{ МПа}$  і  $t_1 = 565^\circ \text{C}$  (знаходять по  $iS$  діаграмі для водяної пари М.П. Вукалович) [4];

$i_2 = 2325 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія водяної пари за турбіною при  $P_2 = 0,05 \text{ МПа}$  і  $t_2 = 81,33^\circ \text{C}$ , а також степені сухості  $x = 0,856$  (знаходять по  $iS$  діаграмі для водяної пари М.П. Вукалович) [4].

Визначають роботу, яку виконують у низькотемпературній частині теплової установки 1кг аміачної пари:

$L_a = i_{1a} - i_{2a} = 2492 - 1500 = 992 \text{ кДж/кг}$ , де:

$i_{1a} = 2492 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія перегрітої аміачної пари за пароперегрівником при  $P_{1a} = 3,798 \text{ МПа}$  і  $t_{1a} = 350^\circ \text{C}$  (знаходять по  $iP$  діаграмі аміаку);

$i_{2a} = 1500 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія аміачної пари після турбіни при температурі конденсації аміаку в конденсаторі  $t_{2a} = 26^\circ \text{C}$  і тиску  $P_{2a} = 1,035 \text{ МПа}$ , степені сухості  $x = 0,82$  (знаходять по  $iP$  діаграмі аміаку) [2].

Величину  $m$  знаходять з рівняння теплового балансу теплоти конденсатора-випарника 5:

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

де:  $i_2' = 340,5 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія 1кг водяного конденсату за конденсатором-випарником (знаходять по таблиці сухої насиченої пари і води) при  $t_2 = 81,33^\circ \text{C}$  і  $P_2 = 0,05 \text{ МПа}$ ;

-  $i_{1a}' = 1676,7 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія 1кг сухої аміачної насиченої пари за випарною частиною теплової установки (знаходять по таблиці властивостей NH<sub>3</sub> на лінії насичення) [3] при температурі кипіння аміаку у випарнику теплової установки  $t_{1a}' = 76^\circ \text{C}$  і відповідним тиском насичення  $P_{1a}' = 3,798 \text{ МПа}$ ;

$i_{2a}' = 522,4 \text{ кДж/кг}$  - ентальпія 1кг аміачного конденсату при  $t_{2a}' = 26^\circ \text{C}$  (знаходять по таблиці властивостей NH<sub>3</sub> на лінії насичення) [3].

Знаходять кількість теплоти, яку підводять у теплову установку:

$$Q_B = i_1 - i_2 = 3520 - 340,5 = 3179,5 \text{ кДж/кг};$$

$$Q_A = i_{1a} - i_{2a} = 2492 - 1676,7 = 815,3 \text{ кДж/кг}.$$

Отже, термічний ККД. способу виробництва електричної енергії у тепловій установці за двома паросиловими циклами з різними робочими тілами:

$$\eta_t = \frac{1195 + 1,72 \cdot 992}{3179,5 + 1,72 \cdot 815,3} = 0,633.$$

Знаходять питому витрату водяної пари в тепловій установці:

$$d_B = \frac{3600}{i_1 - i_2} = \frac{3600}{3520 - 2325} = 3,01 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год}.$$

Знаходять питому витрату аміачної пари в тепловій установці:

$$d_A = \frac{3600}{i_{1a} - i_{2a}} = \frac{3600}{2492 - 1500} = 3,63 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год}.$$

При виробництві 3,01 кг водяної пари відповідно виробляють аміачної пари -  $3,01 \times 1,72 = 5,1772 \text{ кг}$ . Отже, на 1 кВт-годину електричної енергії, яку відпускають від високотемпературної частини теплової установки за двома паросиловими циклами і з

різними робочими тілами, які зазначено в цьому винаході, відпускають -  $5,1772/3,63 = 1,426 \text{ кВт-години}$  електричної енергії, яку виробляють у низькотемпературній частині цієї установки.

Джерела інформації:

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

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

3. Бучко Н.А. и др. Теплофизические основы получения искусственного холода: Справочник. - М.: Пищевая промышленность, 1980. - Приложение I - Свойства  $\text{NH}_3$  на линии насыщения, стр.182-184.

4. iP діаграма аміака - i, P - діаграма аммиака.

5. iS діаграма для водяної пари. М.П.Вукалович - iS-діаграма для водяного пара до  $700^\circ\text{C}$  и 100 Мпа по М.П.Вукаловичу.

6. Швец І.Т. і інші. Теплотехніка. В-во „Вища школа”, Київ, 1969, додаток 2, Таблиця 2, стор.581-583.

