



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 90850

(13) C2

(51) МПК (2009)

F25B 11/00

F25B 9/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРОЦЕС ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ СТИСНЕНОГО ГАЗУ В ЕЛЕКТРИЧНУ ПРИ ЙОГО РОЗШИРЕННІ

1

(21) а200606231

(22) 05.06.2006

(24) 10.06.2010

(46) 10.06.2010, Бюл.№ 11, 2010 р.

(72) АНАТИЧУК ЛУК'ЯН ІВАНОВИЧ, СМОЛЯР ГЕ-  
НАДІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ЛОЗБІН ДМИТРО ВА-  
СИЛЬОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ

(56) SU 1231338 A1, 15.05.1986

SU 672452, 15.07.1979

SU 641126, 08.01.1979

RU 2111424 C1, 20.05.1998

WO 03095890 A1, 20.11.2003

Варич Н.И., Лобзин Д.В., Панов А.В., Смоляр Г.А.  
Термоэлектрический генератор с вихревой трубой  
в качестве источника тепла // Термоэлектричест-  
во. - 2002. - №1. - С.76-89.

(57) 1. Процес перетворення енергії стисненого газу за допомогою термоелектричного генератора, який включає відбір стисненого газу із вхідної магістралі, його подачу на вхід однопотокової вихрової труби, перетворення потенційної енергії стисненого газу в теплову шляхом його розширення й нагрівання в камері енергетичного розділення, підведення тепла від потоку газу через стінку цієї камери до спаїв, які нагріваються, р- і п-гілок термоелектричного генератора, та відведення тепла від спаїв, які охолоджуються, р- і п-гілок термоелектричного генератора у пристрої відводу тепла, генерацію електричної енергії в термоелектричному генераторі, відвід розширеного потоку газу із однопотокової вихрової труби у магістраль зниже-

2

ного тиску, який відрізняється тим, що відведення тепла від охолоджуваних спаїв р- і п-гілок термоелектричного генератора до потоку газу здійснюють перед його подачею в однопотокову вихрову трубу.

2. Процес за п. 1, який відрізняється тим, що включає відбір додаткового потоку газу із вхідної магістралі, змішування перед відводом у вихідну магістраль основного й додаткового потоків газу в ежекторі, де за рахунок розширення додаткового потоку газу знижують тиск в основному потоці газу на виході однопотокової вихрової труби.

3. Процес за п. 1, який відрізняється тим, що подачу потоку газу на вхід однопотокової вихрової труби здійснюють після його попереднього розширення й поділу на гарячий і холодний потоки у двопотоковій вихровій трубі, причому гарячий потік газу подають на вхід однопотокової вихрової труби, а відвід тепла від охолоджуваних спаїв р- і п-гілок термоелектричного генератора здійснюють до холодного потоку газу із двопотокової вихрової труби, при цьому відвід гарячого і холодного потоку газу здійснюють у магістраль зниженого тиску.

4. Процес за п. 3, який відрізняється тим, що перед відводом у вихідну магістраль гарячий і холодний потоки газу направляють в ежектор, де здійснюють їхнє змішування та, за рахунок додаткового розширення в ньому холодного потоку газу із двопотокової вихрової труби, знижують тиск гарячого потоку газу на виході однопотокової вихрової труби.

Винахід відноситься, переважно, до газорозподільної техніки, що використовує енергію стисненого газу для одержання електроенергії.

Природний газ у магістральному газопроводі, як правило, має тиск, який суттєво вищий за робочий тиск пристроїв споживачів газу. Тому перед відправкою споживачеві газ розширюють у пристрої регулювання тиску, який встановлений, наприклад, на газо-розподільчих станціях. Потенційна енергія розширення стисненого газу може бути

використана для виробітку електроенергії, яка в подальшому застосовується по призначенню.

Відомий процес перетворення потенційної енергії стисненого газу в електричну при його розширенні [1], у якому послідовно здійснюється: відбір газу з магістралі високого тиску ( $P_{\max}$ ); перетворення потенційної енергії стисненого газу в теплову при його розширенні у двопотоковій вихровій трубі (ВТ)[2] з поділом газу на два потоки - гарячий і холодний; перетворення теплової енергії потоків газу в електроенергію за допомогою тер-

(13) C2

(11) 90850

(19) UA

моелектричного генератора (ТЕГ), для чого гарячі та холодні потоки, які виходять з ВТ, направляються в теплообмінні пристрої для підведення тепла до гарячих та відводу тепла від холодних спаїв ТЕГ; відвід обох потоків розширеного газу у вихідну магістраль низького тиску ( $P_{\min}$ ). Перепад температур, що створюється на спаях ТЕГ, приводить до виникнення в них термоелектрорушійної сили, а при підключенні зовнішнього навантаження - електричного струму.

Відомий також інший процес перетворення потенційної енергії стисненого газу при його розширенні в електричну з використанням однопотокової ВТ і ТЕГ [1]. У цьому випадку розігрів розширеного газу здійснюється у камері енергетичного розподілу однопотокової ВТ. Газ виводиться з холодного кінця ВТ. Нагрівання гарячих спаїв р- і n-гілок ТЕГ здійснюється гарячим пристінковим потоком газу через стінки камери енергетичного розподілу, на протилежній поверхні якої вони розміщуються. Відвід тепла від холодних спаїв р- і n-гілок ТЕГ здійснюється в пристрої відводу тепла до потоку газу, що виходить із ВТ.

Вказані процеси перетворення потенційної енергії стисненого газу в електричну при його розширенні мають наступні недоліки: перепад тиску у вузлі редукування ВТ використовується неефективно; теплообмінники, розташовані після ВТ, створюють гідравлічний опір потоку газу, який приводить до підвищення тиску газу на її виході, і, як наслідок, до зменшення робочого ступеня розширення газу у вихровому процесі в порівнянні з наявним. В остаточному підсумку це приводить до зменшення перепаду температур між отриманими потоками газу, які визначають величину електричної потужності, яка генерується в ТЕГ [3].

Особливістю роботи вихрових пристроїв є досягнення граничного перепаду температур газових потоків при ступенях розширення газу, яка становить 6-8. Реальний ступінь розширення газу для більшості магістралей газорозподільних станцій становить 9-25. Робота ВТ з таким ступенем розширення газових потоків не дає суттєвого приросту перепаду температур. Для збільшення вихідної потужності необхідне підвищення витрат газу у вихровому пристрої, збільшення його загальних розмірів, а також кількості спаїв р- і n- гілок та розмірів термоелектричного генератора.

Тому метою даного винаходу є підвищення ефективності перетворення потенційної енергії стисненого газу в електричну енергію, що полягає у:

- використанні енергії вхідного потоку газу для охолодження спаїв ТЕГ до подачі в однопотокову ВТ;
- підвищенні ефективності роботи ВТ, що задіяні в процесі;
- зниженні гідравлічного опору по потоку газу на ділянці між виходом з ВТ та магістраллю низького тиску;
- зниженні тиску на виході ВТ;
- застосуванні залишкової енергії газових потоків після використання в ВТ енергії.

На Фіг.1-Фіг.4 представлено схеми, які пояснюють реалізацію заявлених процесів перетворення енергії стисненого газу в електричну енергію,

де: 1 - термоелектричний генератор; 2 - двопотокова ВТ; 3 - однопотокова ВТ; 4 - ежектор; 6 - холодний теплообмінник (пристрій відводу тепла); 7 - регулятор тиску вихідної магістралі; 8 - вхідна магістраль; 9 - магістраль зниженого тиску (при каскадній або багатоступінчастій схемі розширення); 10 - вихідна магістраль.

При цьому на Фіг.1-Фіг.4 та в описі винаходу прийнято також наступні позначення та скорочення:  $P_{\max}$  - тиск газу у вхідній магістралі (на вході газорозподільної станції);  $P_{\min}$  - тиск газу у вихідній магістралі (на виході блоку перетворення енергії);  $P_{in\ fl}$  - тиск потоку газу, який входить у вихрову трубу;  $P_{out\ fl}$  - тиск потоку газу, який виходить з ВТ; Hot FI - гарячий потік газу, що виходить із двопотокової ВТ; Cold FI - холодний потік газу, що виходить із двопотокової ВТ;  $Q_{(+)}$  - підведення тепла;  $Q_{(-)}$  - відвід тепла;  $\pi_{\text{наявн}} = P_{\max}/P_{\min}$  - наявна ступінь розширення газу;  $\pi_{\text{ВТ}} = P_{in\ fl}/P_{out\ fl}$  - робоча ступінь розширення газу безпосередньо у ВТ.

Досягнення технічних результатів при вирішенні поставленого завдання даного винаходу здійснюється наступним чином.

1. Використання теплового потенціалу вхідного потоку газу для охолодження спаїв ТЕГ до подачі в однопотокову ВТ.

Підігрів вхідного потоку газу в теплообмінному пристрої 6 від холодних спаїв ТЕГ перед входом в однопотокову ВТ приводить до додаткового росту температури газу в пристінних шарах камери енергетичного розподілу і, як наслідок, до збільшення температури вихідного потоку з однопотокової ВТ, що йде на нагрівання гарячих спаїв ТЕГ, тобто до збільшення перепаду температур на їх спаях (Фіг.1).

2. Підвищення ефективності роботи ВТ досягається:

2.1. Через підвищення ступеня розширення газу шляхом зменшення гідравлічного опору по потоку газу з однопотокової або двопотокової ВТ.

Зменшення гідравлічного опору по потоці газу після (Фіг.1) ВТ досягається виключенням подачі газу з вихрової труби в теплообмінний пристрій відводу тепла 6.

Втрати тиску на вході у ВТ (Фіг.1), викликані гідравлічним опором теплообмінника, не роблять такого суттєвого впливу на величину ступеня розширення, як збільшення тиску за ВТ, яке відбувається при реалізації відомих прототипів способу

2.2. Через двокаскадне розширення й розігрів газу із застосуванням одно- та двопотокових ВТ.

Ефективне використання потенційної енергії стисненого газу при більших наявних перепадах  $\pi_{\text{наявн}} = P_{\max}/P_{\min} = 9-25$  досягається попереднім розширенням газу, який відбирається з магістралі високого тиску, та його поділом на гарячий і холодний потоки у двопотокових ВТ 2, подачею гарячого потоку в однопотокову ВТ 3 для його додаткового розширення й розігріву в камері енергетичного поділу однопотокової ВТ (Фіг.3).

Нагрівання гарячих спаїв ТЕГ здійснюється від гарячого газу через стінки камери енергетичного розподілу однопотокової ВТ, для чого гарячі спаї ТЕГ розміщують на поверхні цієї камери. Тепло від холодних спаїв ТЕГ 1 відводять у пристрій відводу тепла 6 до холодного потоку газу, який виходить із

першого каскаду двопотокової ВТ. Запропонований процес дозволяє вдвічі збільшити тепловий перепад температур на спаєх ТЕГ.

2.3. Підвищенням ступеня розширення газу за допомогою ежектора.

Ефективність процесу поділу газу на гарячий і холодний потоки в камері енергетичного розділу одно- або двопотокових ВТ може бути досягнуте за рахунок зниження тиску на їхньому виході за допомогою ежектора. Ежектор створює розрідження у вихідних патрубках одно- або двопотокових ВТ для вихідних газових потоків (Фіг.2 та Фіг.4). Перед відводом у вихідну магістраль гарячого і холодного потоків газу із двопотокових ВТ вони змішуються в ежекторі.

У випадку використання ежектора для підвищення ефективності однопотокової ВТ в одноступінчастих схемах розширення газу (Фіг.2) активним потоком є потік газу, який додатково відбирається з магістралі високого тиску. Цей потік, розширюючись в ежекторі, створює розрідження у вхідному патрубку основного потоку після однопотокової ВТ. Даний процес має перевагу при невеликих загальних ступенях розширення газу  $\pi_{\text{нагн}} = P_{\text{max}}/P_{\text{min}} = 3-4$ , підвищуючи ступінь розширення до  $\pi_{\text{ВТ}} = P_{\text{infl}}/P_{\text{outfl}} = 6-8$ .

Активним потоком в ежекторі (Фіг.4) є холодний потік газу від двопотокової ВТ, який виходить після пристрою відводу тепла 6 від охолоджуваних спаїв ТЕГ 1.

На Фіг.1 представлено процес перетворення енергії стиснутого газу для одержання електричного струму в ТЕГ 1, що включає відбір стисненого газу із вхідної магістралі високого тиску 8 ( $P_{\text{max}}$ ); перетворення потенційної енергії потоку газу в теплову шляхом його подачі на вхід однопотокової ВТ 3; перетворення потенційної енергії стисненого газу в теплову шляхом його розширення й нагрівання у камері енергетичного поділу однопотокової ВТ; підвід тепла від потоку газу через стінку камери енергетичного розділення, до гарячих спаїв ТЕГ; відведення тепла від охолоджуваних спаїв ТЕГ до потоку газу перед його подачею в однопотокову ВТ 3; генерація електричної енергії в ТЕГ 1; відведення розширеного потоку газу з однопотокової ВТ 3 у магістраль зниженого тиску. Відміною особливістю цього способу є відведення тепла від гарячих спаїв ТЕГ до подачі потоку газу в однопотокову ВТ 3.

На Фіг.2 тиск в основному потоці газу на виході однопотокової ВТ 3 знижують, стискаючи потік газу в ежекторі перед відводом у магістраль зниженого тиску, для чого із вхідної магістралі здійснюється додатковий відбір потоку газу, його подачу, роз-

ширення й стискання в ежекторі. Усі вищезгадані вузли й пристрої становлять блок перетворення енергії. Відмінною рисою цього процесу є відбір газу для ежектора з метою зниження тиску на виході однопотокової ВТ 3.

Двокаскадне розширення та розігрів газу реалізується з використанням двопотокової 2 і однопотокової 3 ВТ (Фіг.3, Фіг.4). Ефективне застосування енергії стисненого газу при великих перепадах досягається попереднім розширенням газу, що відбирається з магістралі високого тиску 9 ( $P_{\text{max}}$ ), у двопотокову ВТ 2 з розділенням на гарячий і холодний потоки. При цьому, гарячий потік направляється в однопотокову ВТ 3 для його додаткового розширення й розігріву в камері енергетичного розділення труби 3. Нагрівання гарячих спаїв ТЕГ 1 здійснюється теплом, яке передається теплопровідністю через стінки енергетичного розділення труби 3 від вихрового потоку газу в ній, для чого спаї розміщують на поверхні цієї камери, а тепло від холодних спаїв ТЕГ 1 відводять у пристрої відводу тепла 6 до холодного потоку газу, що виходить із двопотокової ВТ 2 першого каскаду. Всі вищезгадані вузли й пристрої становлять блок перетворення енергії.

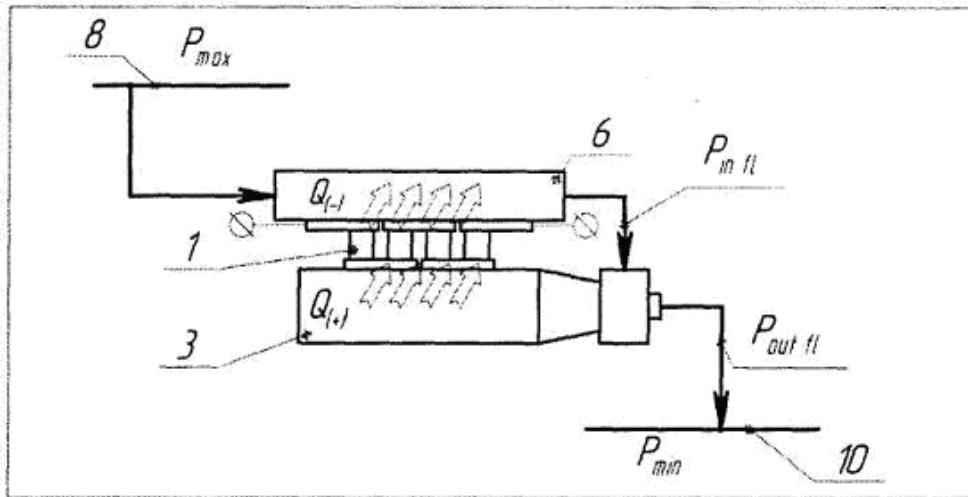
Перед відводом у вихідну магістраль гарячий і холодний потоки газу направляються в ежектор (Фіг.4), де здійснюється їхнє змішання, та за рахунок додаткового розширення в ньому холодного потоку газу із двопотокової ВТ, знижують тиск гарячого потоку газу на виході однопотокової.

Аналіз результатів чисельного моделювання та попередніх випробувань показав, що, в цілому, запропоновані процеси перетворення енергії на основі ТЕГ з кристалів твердих розчинів Bi-Te-Se - Sb характеризуються підвищеним ККД по відношенню до прототипів на 5-12%.

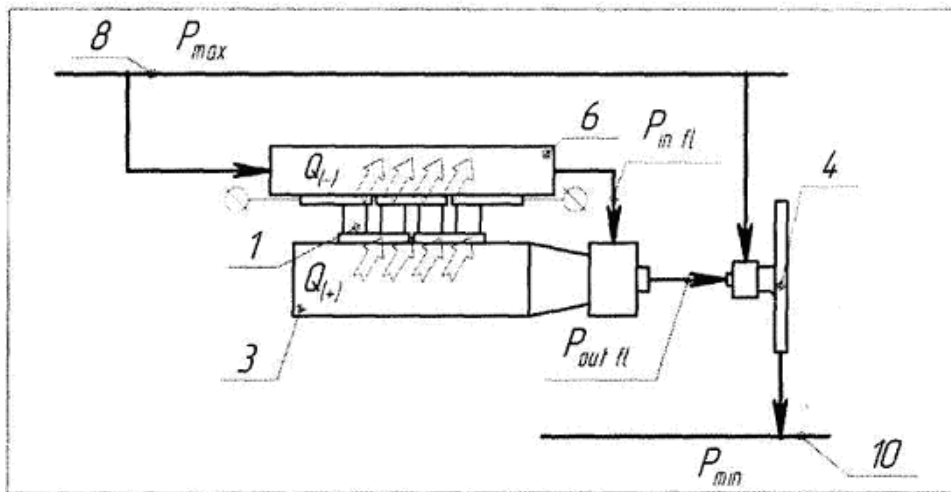
Застосування цих процесів також дозволить знизити неконтрольовані енергетичні втрати, що виникають на газорозподільних станціях та покращити їх екологічний стан і рівень техніки безпеки обслуговуючого персоналу.

#### Література

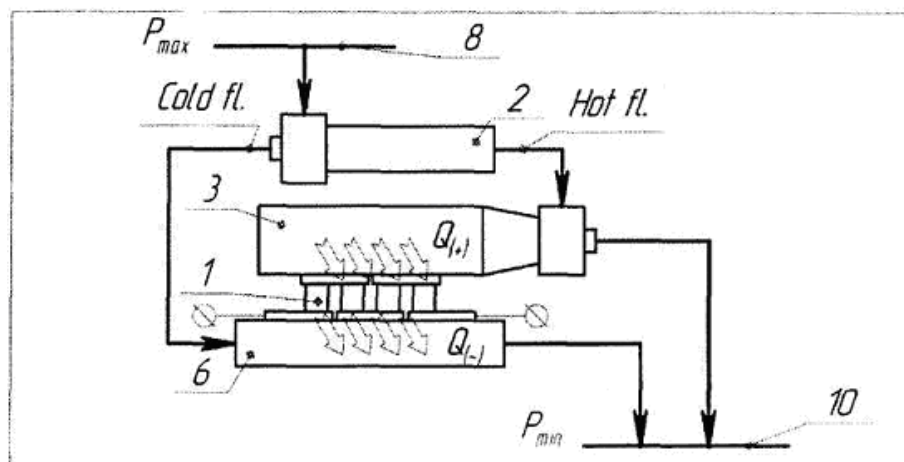
1. Н.И.Варич, Д.В.Лозбин, А.В.Панов, Г.А.Смоляр. Термоэлектрический генератор с вихревой трубой в качестве источника тепла // Термоэлектричество. - 2002. - №1. - С.76-89.
2. А.П.Меркулов. Вихревой эффект и его применение в технике. М: Машиностроение, 1969. - 256 С.
3. Л.И.Анатычук. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник -Киев: Наукова думка, 1979. - 768с.



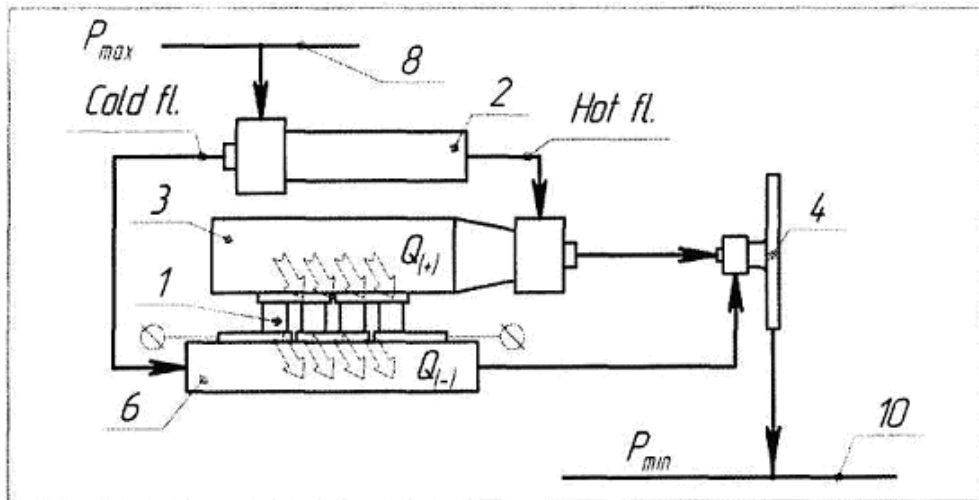
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4