



УКРАЇНА

(19) UA (11) 59875 (13) U
(51) МПК
F25B 9/10 (2006.01)
F25J 3/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ РОБОТИ КРИОГЕННОГО РЕФРИЖЕРАТОРА

1

(21) u201008333

(22) 05.07.2010

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл. № 11, 2011 р.

(72) ЛАВРЕНЧЕНКО ГЕОРГІЙ КОСТЯНТИНОВИЧ,
ПЛЕСНОЙ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ, ШВЕЦ
СЕРГІЙ ГАВРИЛОВИЧ

(73) ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

(57) Спосіб роботи криогенного рефрижератора для виробництва холоду, що використовує в якості криоагента будь-який газ із температурою нормального кипіння нижче 13 ОК, наприклад, повітря, як криоагент стискають в основному компресорі, потім охолоджують в кінцевому холодильнику, після чого розділяють на два потоки, перший з яких при проходженні через основний рекуперативний теплообмінник рефрижератора охолоджується у ньому протитечією, що рухається другим потоком охолодженим в результаті проходження через турбодетандер високого тиску криоагента, а

2

також зворотним потоком криоагента, що надходить або зі збірника рідкого криоагента, або з випарника, з яким об'єднаний на вході в основний теплообмінник другий потік охолодженого в процесі розширення в турбодетандері низького тиску криоагента, який **відрізняються** тим, що з метою зниження питомих витрат енергії на виробництво холоду в схему криогенного рефрижератора включений детандер-компресорний агрегат, що складається із двох турбодетандерів високого й низького тисків, а також турбокомпресора для одного або багатоступінчастого стиску другого потоку криоагента, детандер-компресорний агрегат, у якому сумарна енергія послідовного розширення криоагента в турбодетандері високого тиску й потім турбодетандері низького тиску використовується для привода в дію турбокомпресора, що підвищує тиск другого потоку криоагента перед турбодетандером низького тиску.

Корисна модель належить до холодильної й криогенної техніки, а конкретно до систем криогенного забезпечення різних процесів і технологій, зокрема, організації криостатіровання об'єктів.

Відомі способи, реалізація яких забезпечує підвищення холодопродуктивності турбодетандерів, що входять до складу криогенних рефрижераторних установок (RU 94031048 A1, 1994.08.29, F25B1/00), за допомогою підвищення тиску розширюваного криоагента в турбокомпресорі, розташованому на одному валу з турбодетандером. У такий спосіб забезпечується ефективне використання роботи розширення криоагента в турбодетандері для підвищення тиску перед ним за допомогою турбокомпресора. Агрегат, що поєднує в собі турбодетандер і турбокомпресор, являє собою детандер-компресорний агрегат (ДКА). Тому що розширення криоагента і його стиснення можуть здійснюватися в декількох щаблях, то вони одержали назви детандерної і компресорної щаблів ДКА.

Недоліком відомих способів є низька ефективність використання роботи розширення криоагента в турбодетандері. Установлене, що ефективність використання енергії розширення газу в турбодетандері для його дожимання в турбокомпресорі ДКА перед турбодетандером агрегату знижується в міру підвищення тиску в циклі криогенної установки. Так, наприклад, у криогенних повітрярозділювальних установках (ПРУ) що реалізують термодинамічні цикли, низького тиску (тиск повітря в циклі 0,6 - 1,0 МПа), ріст холодопродуктивності турбодетандера за рахунок дожимання потоку повітря перед ним у турбокомпресорі ДКА, у результаті використання енергії його розширення в турбодетандері, становить 16,4 % (сумарний ріст холодопродуктивності циклу з урахуванням росту дросель-ефекту – 17,9 %). Аналогічний показник для криогенних ПРУ середнього тиску (тиск повітря в циклі 6,5 МПа) – усього 6,1 % (сумарний ріст холодопродуктивності циклу з урахуванням росту дросель-ефекту – 10,4 %). В установках високого тиску (тиск повітря в циклі 15,0 МПа й більш) за-

(13) U

(11) 59875

(19) UA

стосування ДКА забезпечує збільшення холодопродуктивності циклу менш ніж на 5 %. Настільки великі відмінності в ефективності застосування ДКА, що працюють за звичайною схемою, описаної вище, у циклах криогенних установок обумовлені різною зміною властивостей повітря в області низьких і високих тисків. Подібне також характерно й для інших газів, наприклад, азоту, природного газу, водню й гелію.

Зниження ефективності застосування ДКА при підвищенні тиску в циклі криогенної установки також обумовлене падінням коефіцієнта корисної дії турбодетандера ДКА через високий ступінь розширення газу. Так, при переході від циклів низького до циклів середнього тиску ступінь розширення в турбодетандері ПРУ збільшується з 5 -8 до 10-15, а у випадку циклів високого тиску – до 30 і більше.

Відомий спосіб підвищення ефективності розширення повітря в циклах криогенних рефрижераторів високого тиску (див. Герш С.Я. Глубокое охлаждение. Ч. 1. – М: Госэнергоиздат, 1957. – 390 с), згідно з яким для збільшення холодопродуктивності циклу застосовується двоступінчасте розширення повітря у двох послідовно розташованих детандерах. Даний відомий спосіб по технічній сутності найбільш близький заявленому винаходу, тобто може використовуватися в якості прототипу.

Недолік цього способу – робота розширення повітря в детандерах корисно не використовується для збільшення їх холодопродуктивності. Даний недолік викликаний тим, що в зазначеному способі передбачається застосування поршневих детандерів. Однак, навіть взявши за основу запропоновану схему і замінивши поршневі детандери детандерами динамічної дії (турбодетандерами), механічно пов'язаними з турбокомпресорами, що дожимають повітря перед кожним турбодетандером, очікуваного результату досягтися не вдається. У такий спосіб проявляється другий недолік, обумовлений послідовним включенням щаблів стиску й розширення.

Технічним завданням заявленої корисної моделі є збільшення холодопродуктивності ДКА криогенних рефрижераторів, що реалізують переважно термодинамічні цикли середнього й високого тисків, і, тим самим, скорочення питомого енергоспоживання на виробіток холоду.

Поставлене технічне завдання вирішується за рахунок того, що в заявленому способі збільшення холодопродуктивності ДКА й, у цілому, криогенного рефрижератора, досягається шляхом ефективного використання енергії розширення криоагента для підвищення його тиску перед розширенням. Для цього пропонується розширення криоагента здійснювати у двох турбодетандерах високого й низького тисків, а енергію розширення криоагента в обох турбодетандерах застосувати для дожимання газу в турбокомпресорі перед турбодетандером низького тиску.

При так організованім розширенні криоагента і його дожимання за рахунок роботи розширення забезпечується істотний відносний ріст холодопродуктивності ДКА криогенних рефрижераторів

середнього й високого тисків, здатних робити холод з більш низькими витратами.

Схема криогенного рефрижератора зображена на кресленні.

Зазначений криогенний рефрижератор працює в такий спосіб.

Потік криоагента, наприклад, повітря, що подається основним компресором 2, привод якого здійснюється від двигуна 1, охолоджується в кінцевому холодильнику 3 і потім надходить в основний рекуперативний теплообмінник 5, де ділиться на два потоки. Перший потік направляється на подальше охолодження в теплообмінник 5, після чого він дроселюється в дросельному вентилі 8 у збірник рідкого криоагента 6. Другий – надходить на розширення в турбодетандер високого тиску 11 детандер-компресорного агрегату 14. Розширення повітря в турбодетандері високого тиску 11 здійснюється до тиску, що трохи перевищує атмосферне, що при використанні в якості криоагента повітря забезпечує температуру наприкінці процесу розширення 105 -115K. Холодний другий потік повітря низького тиску проходить теплообмінник 5, у результаті чого він нагрівається за рахунок теплообміну з першим потоком практично до температури навколишнього середовища й надходить на стиснення в турбокомпресор 13 ДКА 14. У турбокомпресорі 13 відбувається стиск повітря до тиску 1,2 - 1,5 МПа, після чого стиснене повітря охолоджується в кінцевому холодильнику 4. Далі повітря надходить у турбодетандер низького тиску 11, де розширюється до тиску зворотного потоку. Температура наприкінці процесу розширення становить 150 - 160 K. Кріостатування об'єкта 10 здійснюється шляхом циркуляції за допомогою криогенного насоса 9 проміжного теплоносія через зміювик 7, розташований у збірнику рідкого криоагента 6. Утворюючись в результаті підведення теплоти до рідкого повітря від зміювика 7 пари, об'єднані на вході в основний теплообмінник 5 із другим потоком, зворотним потоком надходять в основний теплообмінник 5, де підігріваються за рахунок теплообміну з першим потоком, і потім надходять на усмоктування в основний компресор 2. Після цього цикл замикається.

Кріостатування об'єкта 10 може здійснюватися також і без застосування проміжного теплоносія, тобто в результаті розміщення об'єкта в загальній теплоізолюваній камері з випарником, який установлюється замість збірника рідкого криоагента 6.

ДКА конструктивно створюється у вигляді одного агрегату, що поєднує турбодетандери низького й високого тисків з турбокомпресором. Турбокомпресор повинен мати, як мінімум, два щаблі стиску (два робочі колеса) через відносно високий розташовуваний ступінь підвищення тиску в ньому, а сам агрегат буде являти собою многовальну машину. Вали-шестірні в ній будуть розташовані на загальній шестірні. Для досягнення високої ефективності така конструкція виявляється більш вигідною, тому що в ній забезпечуються оптимальні швидкості обертання турбодетандерів і турбокомпресора ДКА, а також усуваються строгі обмеження на геометричні розміри, характерні для одновальних ДКА.

При реалізації заявленого способу відбувається збільшення холодопродуктивності термодинамічного циклу криогенного рефрижератора як суми холодопродуктивностей турбодетандерів і процесу дроселювання на 34 % у порівнянні з установкою, що працює по циклу установки-прототипу, і на 15 % вище аналогічного показника циклу середнього

тиску із ДКА звичайної конструкції. При реалізації заявленого способу стосовно до повітряного криогенного рефрижераторного циклу середнього тиску можна знизити питоме енергоспоживання при виробітку холоду, тобто збільшити його холодильний коефіцієнт із 0,142 до 0,196.

