

10.31653/smf47.2023.191-196

Сандлер А. К.¹, Шестопалов К.О.¹, Єрін В. О.²¹Національний університет «Одеська морська академія»²Технологічний університет Нінбо, КНР

ГЛИБОКА УТИЛІЗАЦІЯ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ СУДНОВИХ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК

Постановка проблеми в загальному вигляді. У цей час у судновій енергетиці склалася напружена ситуація, обумовлена, рівною мірою, як дефіцитом та зростаючою дорожнечою вуглеводневого палива, так і незадовільної енергоефективністю встаткування. Відповідно до цього проблема раціонального використання енергетичних ресурсів стає важливим стратегічним напрямком промислової політики України.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є розробка технологій глибокої утилізації теплоти вторинних об'єктів суднових енергетичних установок. Впровадження таких технологій дозволяє суттєво (на 10 ... 15 %) підвищити ефективність використання теплового потенціалу палива й забезпечити його економію, а також поліпшити екологічну обстановку у світовому океані за рахунок зниження викидів у навколишнє середовище шкідливих речовин.

Розробка й впровадження теплоутилізаційних технологій сполучені з необхідністю рішення низки досить складних науково-технічних завдань. Утилізаційні технології, як правило, впроваджуються в процесі модернізації або реконструкції існуючих суднових енергетичних установок. При цьому вибір утилізаційної схеми суттєво залежить від стабільності річної потреби судна в певному виді низкопотенційного теплоносія, отриманого в процесі утилізації. У цьому випадку домінуючим критерієм ефективності є коефіцієнт використання палива, на основі якого обирається теплоутилізаційна схема [1].

У багатьох суднових компресорних установках (СКУ) можливість заощадження енергії шляхом її рекуперації значна, але найчастіше не використовується. У більшості випадків у ціні стисненого повітря витрати на енергію становлять практично 80%. У потужних СКУ можна рекуперувати до 94% енергії, що поставляється компресором. Це означає, що всі заходи щодо заощадження енергії характеризуються швидкою економічною віддачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для пошуку раціональних шляхів вдосконалення систем глибокої утилізації тепла проаналізовані існуючі системи відводу тепла СКУ.

Найбільш поширеною є система, яка містить повітряно-водяний охолоджувач, теплоносій з якого спрямовується на підігрів води для вторинних споживачів [2].

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням повітряно-водяного охолоджувача:

- велика вартість охолоджувача;
- необхідність наявності охолоджувача на кожний компресор окремо;
- вихід із водних трубок сполучений з потраплянням води до робочих порожнин компресора та виходу його з ладу;
- складність ремонтно-відновлювальних робіт з підтримки охолоджувача у роботоспроможному стані.

Більшою мірою вільна від зазначених недоліків система, на основі зовнішнього охолоджувача з двох півциліндричних основ, які охоплюють зовні трубопровід з теплоносієм, та на усій площі внутрішньої поверхні яких змонтовані первинні частини елемента Пельтьє з телуриду вісмуту, а на зовнішній поверхні додаткові радіатори охолодження та вторинні частини елемента Пельтьє з германіду кремнію [3].

Недоліки системи, які обумовлені використанням виключно елементів Пельтьє полягають у такому:

- необхідність достатньо великих розмірів модуля для ефективного перетворення теплової енергії у електричну;
- необхідність великого теплоперепаду між теплоносієм та елементом Пельтьє;
- велика вартість охолоджувача на основі зазначеного модуля.

Постановка завдання. Мета дослідження – вдосконалення системи глибокої утилізації вторинних енергоресурсів СКУ, у якій виключено застосування води, як теплоносія, зменшена вартість та габарити теплоутилізуючих елементів та одночасно збережено простота та надійність відомих систем.

Викладення матеріалу дослідження. Поставлена задача вирішується тим, що система утилізації низькопотенційного тепла компресорних установок, яка складається з двох півциліндричних основ, що з'єднуються між собою еластичними фіксаторами, та на усій площі внутрішньої поверхні яких змонтовані первинні частини

елементу Пельтьє з телуриду вісмуту, а на зовнішньої поверхні додаткові радіатори охолодження та вторинні частини елемента Пельтьє з германіду кремнію, які сполучені з первинними частинами металевими стрижнями та комутаційними пристроями для зв'язку з електромережою. Відмінність системи полягає у тому, що півциліндричні основи охоплюють "холодну" частину робочого циліндру двигуна Стірлінга, сполученого з електрогенератором, а "гаряча" частина циліндра двигуна міститься у внутрішній порожнині ресивера, до якого надходить стисле повітря для охолодження.

Суть системи пояснюється кресленням (рис.1), де зображено ресивер 9, у внутрішній порожнині якого міститься "гаряча" частина циліндру двигуна Стірлінга 8.

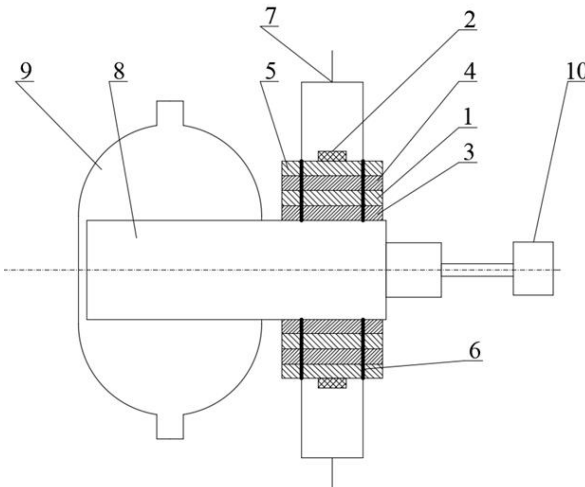


Рис.1. Система утилізації низькопотенційного тепла суднових компресорних установок: 1 – півциліндрична основа; 2 – еластичний фіксатор; 3 – первина частина елемента Пельтьє з телуриду вісмуту; 4 – додатковий радіатор охолодження; 5 – вторинна частина елемента Пельтьє з германіду кремнію; 6 – металевий стрижень; 7 – комутаційний пристрій; 8 – циліндр двигуна Стірлінга; 9 – ресивер; 10 – електрогенератор

"Холодну" частину циліндру двигуна Стірлінга охоплюють дві півциліндричні основи 1, що розташовуються на трубопроводах з теплоносіями й з'єднуються між собою еластичними фіксаторами 2.

На усій площі внутрішньої поверхні основ змонтовані первинні частини елемента Пельтьє з телуриду вісмуту 3, а на зовнішньої поверхні додаткові радіатори охолодження 4 та вторинні частини еле-

менту Пельтьє з германіду кремнію 5. Первинні та вторинні частини сполучені металевими стрижнями 6. Контакти від усіх блоків елементів надходять до комутаційних пристроїв 7.

Коли стисле повітря з підвищеною температурою потрапляє до ресиверу відбувається нагрів робочого тіла у циліндрі двигуна Стірлінга та розпочинається робочий цикл. У ході робочих циклів, що повторюються, вал двигуна приводить до обертання ротор електрогенератора 10 та починається процес генерації електроенергії. Коли відбувається повне розширення робочого тіла у циліндрі, він пересувається у крайнє робоче положення, а робоче тіло заповнює увесь простір циліндра. На цьому етапі, для охолодження робочого тіла, застосовуються термоелементи у "холодній" частині циліндру [4, 5].

Коли в елементах Пельтьє 3 та 5 виникає градієнт температур, змонтованих на півциліндричних основах 1, то електрони у первинних елементах здобувають більш високі енергії й швидкості, чим на вторинних й концентрація електронів провідності росте з температурою. Частини сполучаються металевими стрижнями 6. Додатковий градієнт температури між частинами створюється за допомогою додаткових радіаторів охолодження 4. Еластичні фіксатори 2 використовуються для монтажу основ та термокомпенсації поширення матеріалу циліндру. Комутаційний пристрій 7 застосовується для електричного сполучення всіх елементів Пельтьє та зовнішніх електричних пристроїв.

У результаті виникає потік електронів від первинних до вторинних елементів й на вторинних накопичується негативний заряд, а на первинних залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду триває до тих пір, доки різниці потенціалів, що виникла, не викличе потік електронів у зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага. Після чого настає сталий режим перетворення теплової енергії у електричну.

Таким чином здійснюється додаткова утилізація низькопотенційного тепла СКУ [6, 7].

Коли стисле повітря з підвищеною температурою потрапляє до ресиверу відбувається нагрів робочого тіла у циліндрі двигуна Стірлінга та розпочинається робочий цикл. У ході робочих циклів, що повторюються, вал двигуна приводить до обертання ротор електрогенератора та починається процес генерації електроенергії. Коли відбувається повне розширення робочого тіла у циліндрі, він пересу-

вається у крайнє робоче положення, а робоче тіло заповнює увесь простір циліндра. На цьому етапі для охолодження робочого тіла застосовуються термоелементи у "холодній" частині циліндру.

Коли в елементах Пельтьє виникає градієнт температур, змонтованих на півциліндричних основах 1, то електрони у первинних елементах здобувають більш високі енергії й швидкості, чим на вторинних й концентрація електронів провідності росте з температурою. Частини сполучаються металевими стрижнями 6. Додатковий градієнт температури між частинами створюється за допомогою додаткових радіаторів охолодження. Еластичні фіксатори 2 використовуються для монтажу основ та термокомпенсації поширення матеріалу трубопроводу з теплоносієм. Комутаційний пристрій застосовується для електричного сполучення всіх елементів Пельтьє та зовнішніх електричних пристроїв.

У результаті виникає потік електронів від первинних до вторинних елементів й на вторинних накопичується негативний заряд, а на первинних залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду триває до тих пір, доки різниці потенціалів, що виникла, не викличе потік електронів у зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага. Після чого настає сталий режим перетворення теплової енергії у електричну.

Таким чином здійснюється додаткова утилізація низькопотенційного тепла компресорної установки.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Запропоноване схемотехнічне рішення системи утилізації вторинного тепла SKU завдяки застосуванню сполучення двигуна з зовнішнім підводом тепла (двигуна Стірлінга) та термоелектричних елементів у напівциліндричних основах забезпечить технічний ефект, який полягає у:

- більш ефективному перетворення теплової енергії стислого повітря у електричну;
- більшої компактності системи;
- підвищенні якості функціонування за рахунок створення розгалужених систем з однотипних модулів.

Перелік використаних джерел

1. Ефимов А. В., Гончаренко А. Л., Гончаренко Л. В. Система глибокої утилізації теплоти газів, уходящих из котельных агрегатов. –Х.: НТУ "ХПІ", 2013. – № 13(987). – С. 73-80.

2. Тигарев П. А. Справочник по судовым компрессорам. – Л.: Судостроение, 1981. – 320 с.
3. Сандлер А. К., Цюпко Ю. М. Модуль для утилізації низькопотенційного тепла судових енергетичних установок // Судовые энергетические установки. – 2015. – Вып. 35. – Одесса: ОНМА. – С. 163-169.
4. Organ A. J. (1992). Thermodynamics and Gas Dynamics of the Stirling Cycle Machine. Cambridge University Press. ISBN 0-521-41363-X.
5. Koichi Hirata (1998). Design and manufacturing of a prototype engine. National Maritime Research Institute. URL: <https://www.nmri.go.jp/archives/eng/khirata/stirling/docpaper/sekkeie.html>.
6. Анатычук Л. И. Термоэлектричество: в 2 т./ Институт термоэлектричества. – Киев, Черновцы, 2003. – Т.2: Термоэлектрические преобразователи энергии. – 376 с.
7. Данчук Д. П., Долومانжи Г. Д., Сандлер А. К. Волоконна оптика в задачах технічного діагностування судових компресорних машин// XII міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 21.11.2022 - 23.11.2022 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ"ОМА". – 2022. – С.160-164. DOI: 10.31653/2706-7874.SEEEE-2022.11.1-203.