

АНОТАЦІЯ

Гнип М.М. Підвищення енергоефективності пересувних дизельних компресорних станцій нафтогазової галузі. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування». Підготовка дисертації здійснювалась в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу. Захист дисертації відбудеться в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, 2020 р.

Дисертація присвячена підвищенню енергоефективності пересувних дизельних компресорних станцій нафтогазової галузі шляхом розробки випереджаючих технічних рішень та методів енергозбереження компресорів за рахунок додаткового охолодження, використання теплоти відпрацьованих та стиснених газів та застосування альтернативних газових палив для силових приводів. Витрати на технологічний транспорт становлять істотну частку в собівартості основної продукції нафтогазової галузі, тому зниження енергоспоживання та вартості транспортно-технологічної роботи пересувних дизельних компресорних станцій – актуальне завдання.

Проаналізувавши сучасний стан засобів зниження енергоспоживання пересувних дизельних компресорних станцій нафтогазової галузі було встановлено, що втрати енергії в елементах компресорної установки складають, в середньому, 50-60 % від кількості енергії, що споживається компресором. З них втрати енергії на тертя в трубопроводах складають, в середньому, 3-8 % в залежності від довжини трубопроводів; втрати енергії в циліндропоршневій частині компресора – близько 15 %, а втрати при охолодженні газу досягають до 30 %. Тобто близько третини загальної витраченої енергії компресора

втрачається за рахунок не використання акумульованої теплоти стиснених газів.

Тому найбільшим резервом економії енергії пересувних дизельних компресорних станцій є ефективна рекуперація теплової енергії, яка виноситься з відпрацьованими газами та теплової енергії стиснених газів, яка виділяється в навколишнє середовище. Встановлено, що за рахунок ефективного використання надлишкового тепла можна одержувати додаткову кількість електроенергії в межах 12-14 % від номінальної ефективної потужності силового приводу, а одержану енергію для підвищення енергоефективної роботи компресора необхідно використовувати для додаткового штучного охолодження стисненого газу теплоносієм-фреоном. Обґрунтовано, що у пересувних дизельних компресорних станцій існує значний енергозберігаючий резерв при використанні альтернативних сумішевих газових палив.

Здійснено математичне моделювання енергоефективності різних схем системи охолодження стисненого газу пересувних дизельних компресорних станцій з метою встановлення аналітичних залежностей енергоспоживання від зміни термодинамічних та конструктивних параметрів компресорів.

Виконані стендові експериментальні дослідження енергетичних та експлуатаційних параметрів пересувних дизельних компресорних станцій, конвертованих на альтернативні газові палива, з метою перевірки коректності математичного моделювання та встановлення взаємозв'язку між їхніми економічними, потужнісними та екологічними характеристиками.

За результатами математичного моделювання розроблено удосконалений метод енергозбереження компресорів за рахунок використання теплоти відпрацьованих газів силового агрегату та стиснених газів компресора та використання додаткового вискоефективного охолодження стиснених газів.

Встановлено, що при використанні розроблених систем охолодження стисненого газу питома енергія, що споживається компресорами, знижується

для дизельних компресорних установок нафтогазової галузі, в середньому, на 14-17 %.

При застосуванні для охолодження стисненого газу додаткових фреонових систем високоефективного охолодження питома площа теплообмінних апаратів – охолоджувачів стисненого газу – знижується, в середньому, на 25 %. Використання додаткових фреонових систем високоефективного охолодження замість водяних систем дозволяє в 2-3 рази знизити питому витрату охолоджувача-теплоносія на один кілограм охолодженого газу.

Розроблено удосконалений метод живлення дизельних двигунів з покращеними паливно-економічними та екологічними характеристиками за рахунок використання альтернативних газових палив. Встановлено, що при конвертації дизельних двигунів силових приводів компресорних станцій на альтернативне сумішеве газомоторне паливо можна знизити витрати на паливно-мастильні матеріали, в середньому, на 30-40 %, а вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах переобладнаних двигунів у залежності від навантаження знижується від 13 до 47 %.

Встановлено, що ефективна потужність двигуна при використанні чистого пропан-бутану замість дизельного палива зросла на 5,2 %; максимальна ефективна потужність двигуна при використанні суміші 95 % пропан-бутану та 5 % піролізного газу збільшилась на 2,3 %; величина ефективної питомої витрати палива двигуна на режимі максимальної потужності при використанні чистого пропан-бутану замість дизельного палива знизилась на 5,9 %; величина ефективної питомої витрати палива двигуна при використанні суміші 95 % пропан-бутану та 5 % піролізного газу зменшилась на 2,1 %.

Отже, в результаті теоретичних та експериментальних досліджень була вирішена важлива науково-практична задача в галузі підвищення енергоефективності пересувних дизельних компресорних станцій нафтогазової промисловості шляхом розробки випереджаючих технічних рішень та методів

енергозбереження компресорів за рахунок додаткового охолодження, використання теплоти відпрацьованих та стиснених газів, застосування альтернативних газових палив для силових приводів.

Ключові слова: газ; трубопровід; труба; коливання тиску; математична модель; потужність; економічність; гільза; електрична схема; дизельний двигун; надійність; транспортний засіб; енергія; ефективність; компресор; обладнання; екологічна безпека; нафтогазовий комплекс; моделювання; транспортно-технологічні машини.

ANNOTATION

Нлур М. Improving of Energy Efficiency of Mobile Diesel Compressor Stations in Oil and Gas Industry. - Qualified scientific work as a manuscript.

The thesis for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 133 - "Industry Mechanical Engineering". The thesis preparation was carried out at the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Defence of the thesis will be held at the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 2020.

The thesis is devoted to increase of energy efficiency of mobile diesel compressor stations of oil and gas industry by development of advanced technical solutions and methods of energy saving of compressors due to additional cooling, usage of exhaust heat and compressed gases, and usage of alternative gas fuels for power drives. Costs for technological transport represent a significant share in the cost of the main products of the oil and gas industry, therefore reducing energy consumption and the cost of transport and technological work of mobile diesel compressor stations is an urgent task.

Making analysis of current state of the means of reducing the energy consumption of mobile diesel compressor stations of the oil and gas industry, it was found that energy losses in the elements of the compressor unit make up, on average,

50-60% of the amount of energy consumed by the compressor. Friction energy losses in pipelines make up, on average, 3-8 % depending on the length of the pipelines; energy losses in the piston cylinder group of the compressor are about 15 % and gas cooling losses are up to 30 %. That is, about a third of the total energy of the compressor is lost by not using the accumulated heat of the compressed gases.

Therefore, the largest reserve of energy savings for mobile diesel compressor stations is the efficient recovery of exhaust gas and thermal energy released into the environment. It is established that due to the efficient usage of excess heat it is possible to obtain additional amount of electricity within 12-14 % of the rated effective power of the power actuator, and the obtained energy to increase the energy efficient operation of the compressor must be used for additional artificial cooling of the compressed gas by Freon as the coolant. It is substantiated that mobile diesel compressor stations have a considerable energy saving reserve when using alternative mixed gas fuels.

Mathematical model of energy efficiency of various circuits of the compressed gas cooling system of compressor stations was performed in order to establish analytical dependences of energy consumption on the change of thermodynamic and structural parameters of compressors.

Stand experimental investigations of energy and operational parameters of mobile diesel compressor stations converted to alternative gas fuels were carried out in order to verify the correctness of mathematical model and to establish the relationship between their economic, power, and environmental characteristics.

The results of mathematical model have developed an advanced method of energy saving of compressors by using exhaust gas of power unit and compressor gases and usage of additional highly efficient cooling of compressed gases.

It is established that using the developed systems of compressed gas cooling the specific energy consumed by compressors is reduced by 14-17 % for diesel compressor installations of the oil and gas industry.

Usage for cooling of compressed gas additional Freon systems of high-efficiency cooling leads to reducing of heat exchangers area of compressed gas coolers on average, by 25 %. Usage of additional Freon systems of high-efficiency cooling instead of water systems allows to reduce 2-3 times the specific consumption of the coolant-coolant by one kilogram of cooled gas.

Improved method of powering diesel engines with improved fuel-economy and environmental performance through the usage of alternative gas fuels has been developed. It is established that converted diesel engines of power drives of compressor stations to alternative mixed gas engine fuel reduce the costs of fuel and lubricants, on average, by 30-40 %, and the content of nitrogen oxides in the exhaust gases of converted engines depending on the reduction reduces up to 47 %.

It was found that the effective engine power using pure propane-butane instead of diesel fuel increased by 5,2 %; the maximum effective engine power when using a mixture of 95% propane-butane and 5 % pyrolysis gas increased by 2,3 %; the amount of effective specific fuel consumption of the engine at maximum power using pure propane-butane instead of diesel fuel decreased by 5,9 %; the effective unit specific fuel consumption of 95 % propane-butane and 5 % pyrolysis gas was reduced by 2,1 %.

Thus, as a result of theoretical and experimental studies an important scientific and practical problem in the field of improving the energy efficiency of mobile diesel compressor stations of the oil and gas industry was solved by developing advanced technical solutions and methods of energy saving of compressors due to the additional cooling and usage of gas coolants. for power drives.

Key words: gas; pipeline; pipe; pressure fluctuations; mathematical model; power; economy; diesel engines; liner; electrical circuit; reliability; transportation vehicle; energy; efficiency; compressor; equipment; environmental safety; oil and gas complex; modeling; transport and technological machines.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких

опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Kryshchtopa S., Panchuk M., Dolishnii B., Kryshchtopa L., Hnyr M., Skalatska O. Research into emissions of nitrogen oxides when converting the diesel engines to alternative fuels. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. 1/10 (91). P. 16–26. **(індексується в базі Scopus, рахується за дві, оскільки опублікована у виданні, віднесеному до другого квартилю Q2, відповідно до класифікації SCImago Journal)**.
2. Kryzhanivskyi Y., Kryshchtopa S., Kryshchtopa L., Hnyr M., Mykutyi I. Conversion of diesel engine to alternative bio-alcohol fuel. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 2019. Volume 3, Issue 3, P. 123–131. **(закордонне наукове періодичне видання, індексується в базі Copernicus)**.
3. Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Прунько І. Б., Мельник В. М., Гнип М. М. Експериментальні дослідження металополімерних пар тертя з врахуванням трибоелектричних процесів. *Проблеми трибології*. 2016. 4. С. 55–60. **(наукове фахове видання України)**.
4. Микитій І. М., Гнип М. М., Криштопа С. І. Енергоефективність дизельних двигунів нафтогазової галузі при їхньому переведенні на альтернативні палива. *Нафтогазова енергетика*. 2017. 2 (28). С. 103–110. **(наукове фахове видання України)**.
5. Гнип М. М., Микитій І. М., Криштопа С. І. Дослідження економічної доцільності переобладнання дизельних двигунів нафтогазової галузі на альтернативні палива. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. 4 (65). С. 88–95. **(наукове фахове видання України)**.
6. Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Гнип М. М., Микитій І. М., Мельник В. М., Дикун Т. В. Дослідження складу і теплоти згорання піролізних газів як палива для конвертованих на газ дизельних двигунів нафтогазового

технологічного транспорту. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. (2). С. 84–94. **(наукове фахове видання України)**.

7. Крижанівський Є. І., Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Гнип М. М., Микитій І. М. Експериментальні дослідження показників дизельного двигуна за умови його роботи на біометанолі. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. 86, Т.1. С. 90–100. **(наукове фахове видання України)**.
8. Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Гнип М. М., Микитій І. М. Дослідження показників дизель-компресорного агрегату при його роботі на альтернативному біопаливі. *Нафтогазова енергетика*. 2019. 2 (32). С. 88–96. **(наукове фахове видання України)**.
9. Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Гнип М. М., Микитій І. М., Цебер М. М. Розроблення енергоефективної системи охолодження газу пересувних дизельних компресорних станцій нафтогазової галузі. *Нафтогазова енергетика*. 2020. 1 (33). С. 81–89. **(наукове фахове видання України)**.
10. Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Козак Ф. В., Гнип М. М., Микитій І. М., Цебер М. М. Створення математичної моделі розрахунку енергоефективності пересувних дизельних компресорних станцій. *Науковий вісник*. 2020. 1 (48). С. 56–65. **(наукове фахове видання України)**.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Kryzhanivskiy Y., Kryshchopa S., Melnyk V., Dolishnii B., Hnyr M. On the use of alternative fuels in internal combustion engines. *International scientific-technical conference «Current Problems of Transport»*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Тернопіль, 28-29 травня 2019 р.). Тернопіль, 2019. С. 185–194. **(індексується в базі Web of Science)**.
12. Kryshchopa S., Hnyr M., Kryshchopa L. Creation of mathematical model of emission of nitrogen oxides of diesel engines converted to gas. *Actual problems of renewable power engineering, construction and environmental*

engineering: International Scientific-Technical Conference. Kielce, Poland, 7-9 February 2019. KIELCE, 2019. P. 30-31.

13. Криштопа С. І., Гнип М. М., Микитій І. М. Конвертація дизельних двигунів шляхом їхнього переведення на альтернативні палива. *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту*: тези доп. 8-ї міжнар. наук.-практ. конф. (м. Ізмаїл, 7 грудня 2017 р.) Ізмаїл, 2017. С. 148–150.
14. Гнип М. М. Розробка математичної моделі розрахунку викидів оксидів азоту у відпрацьованих газах дизельних двигунів нафтогазової галузі. *Машини, обладнання і матеріали для нарощування вітчизняного видобутку нафти і газу*: тези доп. II-ї міжнар. наук. конф., м. Івано-Франківськ, 24-27 квітня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 246–250.
15. Гнип М. М. Дослідження потужності дизельного двигуна на біодизельному паливі з водорості. *Проблеми і перспективи розвитку транспорту*: тези доп. VIII-ї всеукр. наук.-практ. конф. студентів та молодих вчених, м. Одеса, 18 квітня 2019 р. Одеса, 2019. С. 70–73.
16. Криштопа С., Криштопа Л., Микитій І., Гнип М.. Дослідження показників конвертованого дизельного двигуна при його роботі на піролізному газі. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту*: тези доп. I –ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 13-15 травня 2019 р. Вінниця, 2019. С. 174–175.
17. Криштопа С. І., Гнип М. М., Козак Ф. В. Дослідження теплоти згорання піролізних газів для використання як палива для двигунів. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті*: тези доп. XXI-ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 14-15 травня 2020 р. Київ, 2020. С. 576–580.