



УДК 621.362

Ф.Ф. Хабиров, В.С. Вохмин, Я.Д. Осипов
F.F. Khabirov, V.S. Vokhmin, Ya.D. Osipov

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕЛЬТЬЕ В КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ НУЖД АПК

THE EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING PELTIER THERMOELECTRIC CONVERTER IN BOILER-HOUSES FOR THE NEEDS OF THE AGRICULTURAL SECTOR

Ключевые слова: котельная, дымовая труба, дымовые газы, тепловые потери, термоэлектрический генератор, элемент Пельтье, охлаждение, теплоноситель, преобразователь, электрическая энергия.

Современные научно-технологические решения в агропромышленном комплексе (АПК) открывают широкие возможности повышения энергетической эффективности отрасли. Все активнее обсуждаются вопросы использования новых альтернативных видов энергии. В связи с этим в статье рассматривается один из способов применения альтернативного источника энергии, а именно возможность применения термоэлектрического генератора (ТЭГ) с элементами Пельтье на поверхности дымовой трубы газовой котельной. Основанием работы является предпосылка того, что тепло от сгорания топлива, уходящее с дымовыми газами, можно преобразовывать в электрическую энергию и использовать для потребителей собственных нужд котельной. Для реализации цели исследования произведен расчет потерь теплоты с уходящими продуктами горения для котельных агрегатов, определены необходимые параметры для разработки конструкции термоэлектрического генератора. По значениям рассчитанной температуры стенки дымовой трубы и на основании литературного обзора подобран термоэлектрический модуль. На разработанной физической модели ТЭГ с имитацией дымовых газов и комбинированным способом охлаждения произведено снятие экспериментальных характеристик тока и напряжения в зависимости от изменения температуры горячей стенки трубы при последовательном и параллельном соединении модулей. Наилучшие результаты показали три модуля при их последовательном соеди-

нении. Также было установлено, что максимальная температура для термогенератора имеет ограниченные значения, она не должна превышать температуру плавления припоя, который применяется в модуле. Для предлагаемой конструкции необходимо использовать специальные модули с тугоплавким припоем. Также установлено, что одним из значимых факторов, оказывающим влияние на КПД установки, является разность температур между его «теплым» и «холодным» сторонами. Поэтому наибольший энергетический эффект разрабатываемой конструкции будет наблюдаться только при использовании принудительной системы охлаждения модулей. По результатам работы установили, что предложенную конструкцию ТЭГ, устанавливаемую на внешней поверхности дымовой трубы, с учетом дальнейших доработок, можно использовать в качестве автономного источника энергии котельной.

Keywords: boiler-house, stack, flue gases, heat losses, thermoelectric generator, Peltier element, cooling, heat carrier, converter, electrical energy.

The modern scientific technology solutions in the agro-industrial complex open ample opportunities of increasing power efficiency of the industry. The use of new alternative energy is increasingly being discussed. In this regard, this paper considers one of the methods of using an alternative energy source, namely, the possibility of using a thermoelectric generator (TEG) with Peltier elements on the surface of a gas boiler stack. The basis of the work is the premise that the heat from the combustion of fuel leaving with the flue gases may be converted into electric energy and used for consumers of the boiler-house needs.

To achieve the purpose of the study, heat losses with waste combustion products for boiler units are calculated, the necessary parameters for the development of the thermoelectric generator design are determined. Based on the calculated temperature of the stack wall, and based on the literature, a thermoelectric module is selected. On the developed TEG physical model with the simulation of flue gases and the combined cooling method, the experimental current and voltage characteristics were removed depending on the change in the temperature of the hot wall of the pipe with serial and parallel connection of the modules. The best results were shown by three modules when they were connected in series. It was also found that the max-

imum temperature for the thermogenerator was limited and should not exceed the melting point of the solder used in the module. For the proposed design it is necessary to use special modules with refractory solder. It has also been found that one of the significant factors affecting the efficiency of the plant is the temperature difference between its "warm" and "cold" sides. Therefore, the greatest energy effect of the design being developed will be observed only when using a forced module cooling system. Based on the results of the work, it was determined that the proposed TEG design installed on the outer surface of the chimney, taking into account further improvements, may be used as an independent source of boiler power.

Хабиров Фидан Фазитович, аспирант, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: fidan.20@mail.ru.

Вохмин Вячеслав Сергеевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: v_vohmin@mail.ru.

Осипов Ярослав Дмитриевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: ya.osipov@mail.ru

Khabirov Fidan Fazitovich, post-graduate student, Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: fidan.20@mail.ru.

Vokhmin Vyacheslav Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: v_vohmin@mail.ru.

Osipov Yaroslav Dmitriyevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: ya.osipov@mail.ru.

Введение

На предприятиях агропромышленной отрасли одной из важнейших задач является повышение эффективности использования топливных ресурсов.

Актуальными направлениями на сегодняшний день стали работы по разработке нетрадиционных источников энергий, с прямой конверсией тепловой энергии топлива в электрическую энергию. К таким устройствам, которые преобразуют тепловую энергию, можно отнести термоэлектрический генератор (ТЭГ).

Поэтому проблема повышения эффективности и использования альтернативных источников энергий на предприятиях АПК с целью энергосбережения и автономности электроснабжения, безусловно, является актуальным направлением исследования.

Результаты теоретических исследований [1, 2] показали, что при работе котельной некоторое количество теплоты сжигаемого топлива теряется с уходящими газами. В основном тепло уходит на нагрев элементов системы дымоотведения и рассеивается в атмосфере.

Целью исследования является оценка объективной возможности преобразования теплоты уходящих дымовых газов котельной в электрическую энергию.

Основные задачи: экспериментальные исследования режимов работы термоэлектрического генератора, а также разработка конструкции ТЭГ для дымовой трубы котельной.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются элементы Пельтье, каскадно соединенные в термоэлектрическом генераторе, который использует тепло уходящих газов в системе дымоотведения котельной для преобразования тепловой энергии в электрическую энергию.

Теоретическое обоснование применения ТЭГ на дымовой трубе котельной представлено в предыдущих работах, на примере котельной села Нурлино Республики Башкортостан [2]. Исследования проводились при помощи общенаучных методов в рамках статического и логического анализа. Также применялась графическая интерпретация полученных результатов и

основ теории переноса теплоты и вещества в неподвижной и движущейся среде.

Экспериментальная часть

На первом этапе исследования расчетным путем были определены необходимые параметры: температура уходящих топочных газов 120-160°C; температура поверхности наружной стенки дымоотводной трубы $t_{сн} = 88^\circ\text{C}$; температура поверхности внутренней стенки дымоотводной трубы $t_{св} = 89^\circ\text{C}$ [2]. Граничные условия для расчетов были заданы следующие: температура воздуха в помещении 20°C; температура уходящих газов в дымовой трубе 120°C.

Анализируя предлагаемые на рынке термоэлементы, по соотношению цены и рабочих характеристик, был подобран низкотемпературный термоэлектрический модуль TEC1-

12706, с диапазоном рабочих температур от 20 до 300°C [3].

Для разработки конструкции ТЭГ сначала были изучены существующие термоэлектрические генераторы и наиболее подходящий аналог ТЭГ патент № 2305347 Российская Федерация от 27.08.2007 [4].

Систему охлаждения ТЭГ, которую можно применить для разрабатываемой конструкции термогенератора, взяли за основу (Патент РФ № 150186 от 10.02.2015) [5].

После изучения существующих конструкций термоэлектрических генераторов и выявления недостатков в их конструкции была разработана экспериментальная установка с нагревательным элементом внутри трубы и с принудительной системой водяного охлаждения с наружной стороны, конструкция которой приведена рисунке 1, под цифрами 5, 6 [6-8].

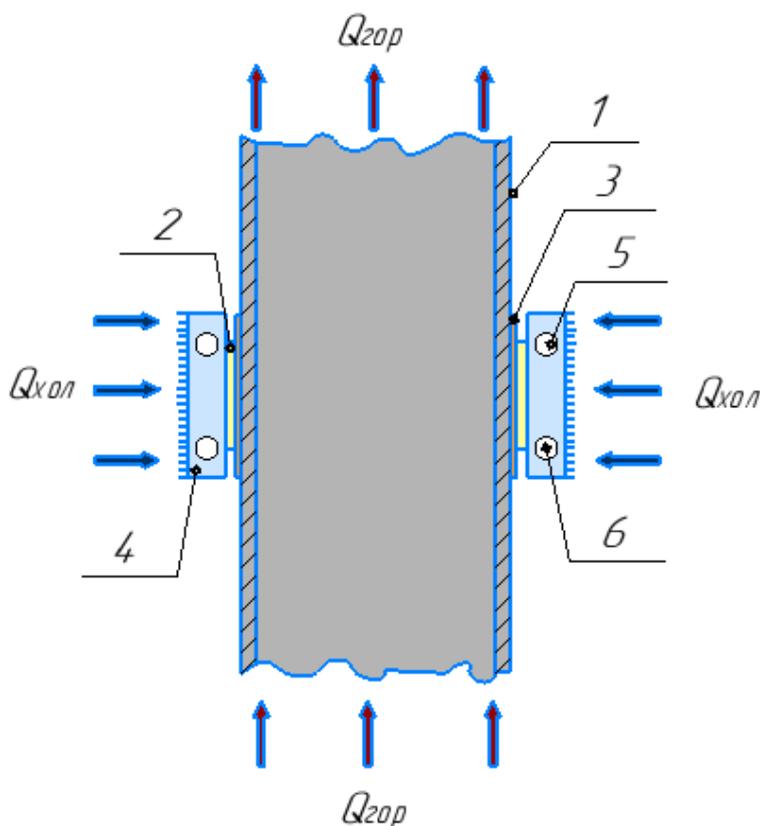


Рис. 1. Модель экспериментальной установки с термоэлектрическим генератором:

1 – стальная труба; 2 – термоэлектрический модуль; 3 – медные пластины; 4 – охлаждающая часть установки; 5, 6 – подающий и обратный канал хладагителя;
 $Q_{гор}$ – горячие потоки дымовых газов; $Q_{хол}$ – потоки холодного воздуха

Для снятия характеристик термоэлектрических модулей использовали последовательное и параллельное соединение [2, 9-11]. Для каждого типа соединения было проведено по два опыта с трёхкратным повторением. Все исследования проводились при изменении температуры от 23 до 120°C. По результатам проведенных опытов получили зависимости, представленные на рисунках 2-4.

Полученные экспериментальные характеристики при параллельном соединении термоэлектрических элементов приведены на рисунке 2.

При исследовании работы одного термоэлектрического элемента ток изменяется ли-

нейно от 0,009 до 24,1 мА, напряжение изменяется от 0,027 до 1,129 В.

Характеристики двух термоэлектрических элементов при параллельном соединении: значение тока изменяется от 0,449 до 16,15 мА, напряжение – от 0,237 до 0,815 В.

При исследовании 3 термоэлектрических модулей, соединенных параллельно, выяснено, ток увеличивается с 0,478 до 13,43 мА, напряжение изменяется от 0,239 до 0,690 В.

Полученные экспериментальные характеристики при последовательном соединении термоэлектрических элементов приведены на рисунке 3.



Рис. 2. Параллельное соединение термоэлектрических модулей

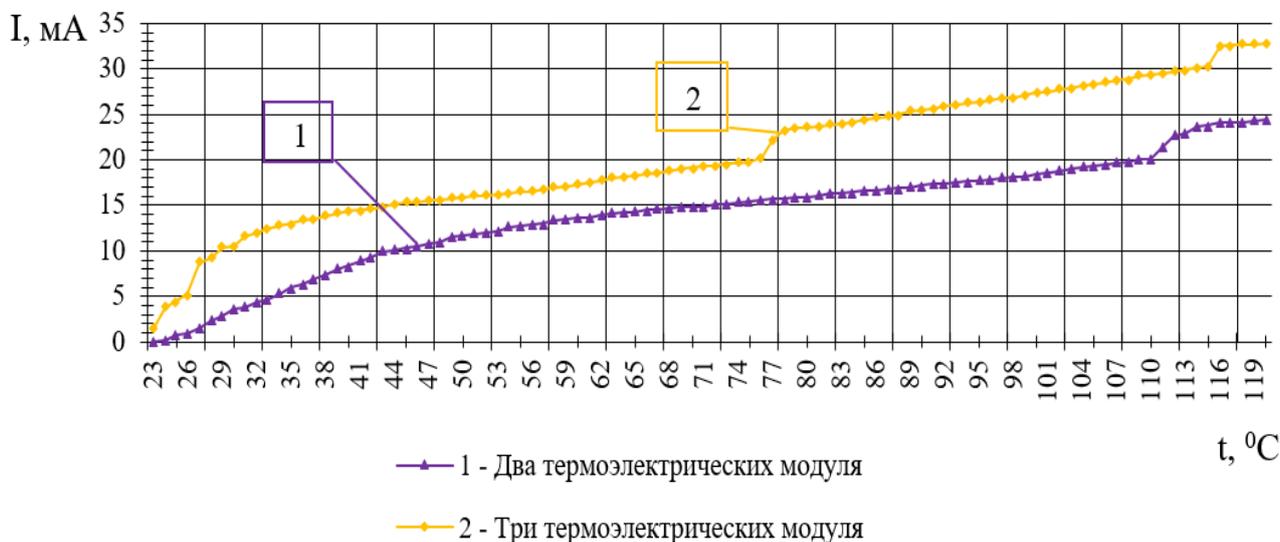


Рис. 3. Последовательное соединение термоэлектрических модулей

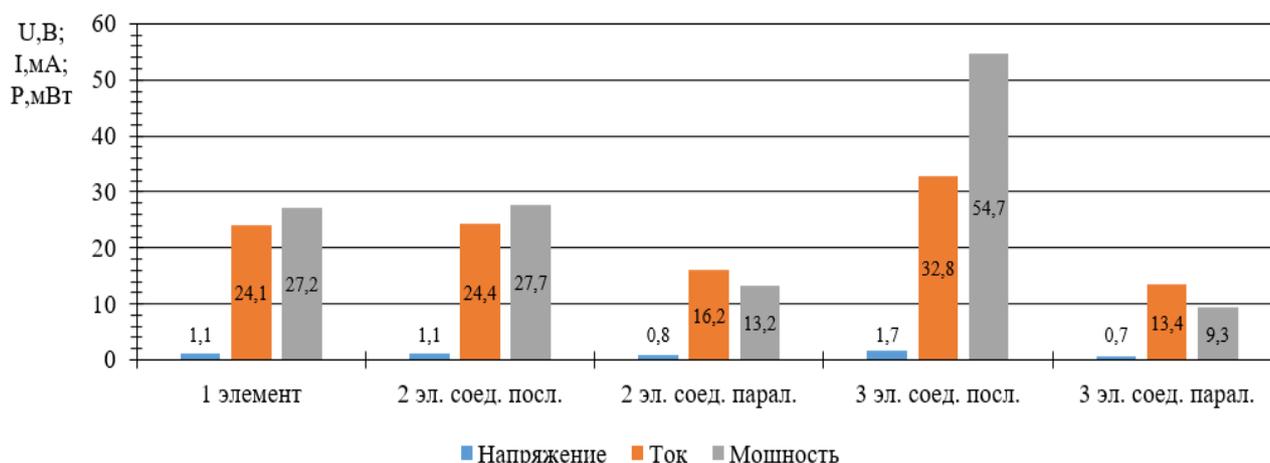


Рис. 4. Экспериментальные данные термоэлектрического модуля

Исследования термоэлектрических модулей, соединенных последовательно, проводились при тех же температурах, что и при параллельном соединении.

При использовании двух термоэлектрических модулей ток увеличивается линейно от 0,002 до 24,4 мА, напряжение изменяется от 0,038 до 1,135 В. При трёх термоэлектрических модулях, тока изменяется от 1,436 до 32,8 мА, напряжение – от 0,368 до 1,669 В.

Для сравнения полученных данных и оценки полученной мощности от термоэлемента построим диаграмму, приведенную на рисунке 4.

Результаты и их обсуждения

Проведя эксперименты с выбранным термоэлектрическим модулем, получили, что наилучшие результаты оказались при использовании трех модулей, соединенных последовательно, при использовании которых были получены следующие параметры: напряжение $U = 1,669$ В, а ток $I = 32,8$ мА при $t = 120^\circ\text{C}$, а при рассчитанной температуре трубы, равной $t = 87^\circ\text{C}$, получили напряжение $U = 1,159$ В, а ток $I = 24,8$ мА. Для практического использования нужен ТЭГ, от которого можно получать напряжение не менее 5 В.

Также нужно отметить, что предельная температура для ТЭГ нормирована температурой плавления припоя, который применяется в модуле. Превышение температуры обычно приводит к выходу элемента из строя. Поэтому для

серийной сборки термогенераторов необходимо применять специальные модули с тугоплавким припоем (температура до 300°C), а для получения стабилизированного напряжения, получаемого от сборки термоэлементов, – преобразователь постоянного напряжения.

Выводы

Рассмотрев и изучив теоретический материал и проведя экспериментальные исследования на разработанной физической модели ТЭГ, можно сделать вывод, что термоэлектрические модули Пельтье могут использоваться в качестве генераторов электрической энергии. При использовании термоэлектрических модулей на поверхности дымовой трубы котельной появляется возможность компенсации теплоты дымовых газов в электрическую энергию, которую в дальнейшем можно использовать для собственных нужд. Главным фактором, оказывающим воздействие на эффективность получения энергии от термоэлектрических элементов, является создаваемая разность температур между его «теплым» и «холодным» сторонами. Поэтому наибольший энергетический эффект разрабатываемой конструкции будет наблюдаться только при использовании принудительной системы охлаждения модулей.

Библиографический список

1. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену: учебное пособие / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Ке-

римов, В. И. Величко. – 3-е издание. – Москва: Изд-кий дом МЭИ, 2010. – 196 с. – Текст: непосредственный.

2. Хабиров, Ф. Ф. Обоснование применения термоэлектрического генератора в системе дымоотведения котельной / Ф. Ф. Хабиров, В. С. Вохмин. – Текст: непосредственный // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3 (32). – С. 285-292.

3. Элемент Пельтье TEC1-12706. Характеристики, применение, условия эксплуатации: каталог. – Текст: электронный // Оборудование. Технологии. Разработки. – URL: <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-kharakteristiki-primenenie-usloviya-ekspluatatsii.html> - 01.12.2020.

4. Патент № 2305347 Российская Федерация, МПК H01L 35/30. Термоэлектрический генератор / Еврофеев Р. С. [и др.]; заявитель и патентообладатель Москва, Федеральное ГУП НПП «Квант»; заявл. 17.04.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 24. – 7 с. – Текст: непосредственный.

5. Патент № 150186 Российская Федерация, МПК H01L 35/28. Термоэлектрическая установка / Плеханов С. И. [и др.]; заявитель и патентообладатель Москва, Открытое акционерное общество «Научно-производственное предприятие Квант»; заявл. 10.09.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. – 12 с. – Текст: непосредственный.

6. Булат, Л. П. Твердотельные охлаждающие системы / Л. П. Булат. – Текст: непосредственный // Термоэлектричество. – 2007. – № 3. – С. 15-21.

7. Исследование основных характеристик термоэлектрического охладителя и генератора: лабораторный практикум / В. Н. Белозерцев [и др.]. – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 76 с. – Текст: непосредственный.

8. Банных, О. П. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников: учебное пособие / О. П. Банных. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – 42 с. – Текст: непосредственный.

9. Виноградов, С. В. Проектирование термоэлектрического генератора, работающего от теплоты выхлопных газов судовых дизелей / С. В. Виноградов, М. М. Горбачёв, К. Р. Халыков.

– Текст: непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 89-94.

10. Виноградов, С. В. Модельная экспериментальная установка с термоэлектрическим генератором / С. В. Виноградов, К. Р. Халыков, Н. К. Доан. – Текст: непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 2. – С. 66-70.

11. Karri, M., Thacher, E., Helenbrook, B. (2011). Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: Two case studies. *Energy Conversion and Management*. 52. 1596-1611. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.10.013.

References

1. Tsvetkov, F.F. Zadachnik po teplomassoobmenu: uchebnoe posobie / F.F. Tsvetkov, R.V. Kerimov, V.I. Velichko. – 3-e izd. – Moskva: Izdatelskiy dom MEI, 2010. – 196 s.

2. Khabirov, F.F. Obosnovanie primeneniya termoelektricheskogo generatora v sisteme dymootvedeniya kotelnoy / F.F. Khabirov, V.S. Vokhmin // Innovatsii v selskom khozyaystve. – 2019. – No. 3 (32). – S. 285-292.

3. Element Peltier TEC1-12706. Kharakteristiki, primeneniye, usloviya ekspluatatsii [Elektronnyy resurs]: katalog / Oborudovaniye. Tekhnologii. Razrabotki. – Rezhim dostupa <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-kharakteristiki-primeneniye-usloviya-ekspluatatsii.html>. – 01.12.2020.

4. Termoelektricheskiy generator: pat. 2305347 Rossiyskaya Federatsiya: MПК N01L 35/30 / Evrofeev R.S. [i dr.]; zayavitel i patentoobladatel Moskva, Federalnoe GUP NPP “Kvant”; zayavl. 17.04.2006; opubl. 27.08.2007, Byul. No. 24. – 7 s.

5. Termoelektricheskaya ustanovka: pat. No. 150186 RF: MПК N01L 35/28 / Plekhanov S.I. [i dr.]; zayavitel i patentoobladatel Moskva, Otkrytoe aktsionerное obshchestvo “Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatие Kvant”; zayavl. 10.09.2013; opubl. 10.02.2015, Byul. No. 4. – 12 s.

6. Bulat, L.P. Tverdotelnye okhlazhdayushchie sistemy // Termoelektrichestvo. – 2007. – No. 3. – S. 15-21.

7. Issledovanie osnovnykh kharakteristik termoelektricheskogo okhladitelya i generatora: lab. praktikum / V.N. Belozertsev [i dr.]. – Samara: Izdvo SGAU, 2015. – 76 s.

8. Bannykh, O.P. Osnovnye konstruktsii i teplovoy raschet teploobmennikov: uchebnoe posobie / O.P. Bannykh. – Sankt-Peterburg: NIU ITMO, 2012. – 42 s.

9. Vinogradov, S.V. Proektirovanie termoelektricheskogo generatora, rabotayushchego ot teploty vykhlopnykh gazov sudovykh dizeley / S.V. Vinogradov, M.M. Gorbachev, K.R. Khalykov //

Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2010. – No. 1. – С. 89-94.

10. Vinogradov, S.V. Modelnaya eksperimentalnaya ustanovka s termoelektricheskim generatorom / S.V. Vinogradov, K.R. Khalykov, N.K. Doan // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. – 2010. – No. 2. – S. 66-70.

11. Karri, M., Thacher, E., Helenbrook, B. (2011). Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: Two case studies. *Energy Conversion and Management*. 52. 1596-1611. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.10.013.

