

3. Pravila ustroistva, eksploatatsiia i bezopasnost elektroustanovok. – Normativno-tehnicheskii sbornik. – Barnaul, 2004. – 840 s.

4. PUE 7. Pravila ustroistva elektroustanovok. Izdanie 7. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>.

5. Pravila tehnikeskoi eksploatatsii elektroustanovok potrebitelei [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa <https://www.elec.ru/library/direction/pteep/>.

6. Boron, S., Heyduk, A., Joostberens, J., Pielot, J. (2016). Empirical Model of a Human Body Resistance at a Hand-To-Hand DC Flow. *Elektronika ir Elektrotehnika*. 22. DOI: 10.5755/j01.eie.22.4.15910.

7. Gierlotka S. Metody badań impedancji ciała człowieka. *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr. 8, 2011, s. 18-20.



УДК 53.096

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-208-2-101-110

Ш.Ф. Нигматуллин, Р.Ф. Самиков,
М.М. Разяпов, Р.Р. Хайретдинова
Sh.F. Nigmatullin, R.F. Samikov,
M.M. Razyapov, R.R. Khayretdinova

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМЕ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

STUDY OF THERMOELECTRIC GENERATOR OPERATION IN EXHAUST SYSTEM OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, двигатель внутреннего сгорания, теплообменник, модуль, температура, давление, проточная область, отработавшие газы, теплоноситель, газ, жидкость.

Объектом проведенного исследования является работа выпускной системы ДВС совместно с термоэлектрическим генератором. Были проведены тепловой и гидродинамический расчёты теплообменников (ТЭГ), по результатам которых определена наиболее эффективная конструкция проточной области теплообменника термоэлектрического генератора. Собран экспериментальный прототип термоэлектрического генератора на базе термоэлектрических генераторных модулей ТГМ-199-1,4-0,8. Максимальная генерируемая электрическая мощность составила 82,14 Вт. Собрана экспериментальная установка, с использованием которой получены зависимости: генерируемого напряжения с ТЭГ от температуры стенок на горячих сторонах ТГМ при стабильной температуре охлаждающей жидкости 90°C; выходной мощности с ТЭГа от изменения температуры на горячих и холодных стенках ТЭГа. Применение разработанного термоэлектрического генератора позволяет: получить дополнительный источник постоянного тока; повысить степень использования выделяющегося при сгорании топлива тепла ДВС, тем самым частично снизить затраты топлива на привод генератора; обеспечить электроэнергией потребителей постоянного тока на минимальных оборотах коленчатого вала ДВС и при аварийных ситуациях, когда выходные

параметры источника тока нестабильны; возможность генерирования электроэнергии в течение 5-10 мин. с момента остановки двигателя.

Keywords: thermoelectric generator, internal combustion engine, heat exchanger, module, temperature, pressure, exhaust gases, coolant, gas, liquid.

The research target is the operation of the exhaust system of an internal combustion engine together with a thermoelectric generator. Thermal and hydrodynamic calculation of heat exchangers was carried out; according to the calculation results, the most efficient design of the flow part of the thermoelectric generator heat exchanger was determined. An experimental prototype of a thermoelectric generator was assembled on the basis of thermoelectric generator modules TGM-199-1.4-0.8. The maximum generated electric power was 82.14 watts. An experimental installation was assembled, the dependences were obtained: the generated voltage and current strength with the thermoelectric generator on the temperature of the walls on the hot sides of the thermoelectric generator at a stable coolant temperature of 90°C; the output power from the thermoelectric generator on temperature changes on the hot and cold walls of the thermoelectric generator. The use of the developed thermoelectric generator allows obtaining an additional DC source; increase the degree of use of the heat released during fuel combustion in the internal combustion engine thereby partially reducing fuel costs for the drive of the main generator; to supply direct current to consumers with electricity at the minimum speed of the crank-

shaft of the internal combustion engine and in emergency situations when the output parameters of the current

source are unstable; it is possible to generate electricity within 5-10 minutes from the moment the engine stops.

Нигматуллин Шамиль Файзрахманович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: 89173711415@mail.ru.

Самиков Руслан Фанзилович, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: ruslan.samikov@mail.ru.

Разяпов Махмут Магдутович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: mahmut@mail.ru.

Хайретдинова Роксана Рашитовна, магистрант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: kha-roksana@mail.ru.

Nigmatullin Shamil Fayzrakhmanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: 89173711415@mail.ru.

Samikov Ruslan Fanzilovich, post-graduate student, Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: ruslan.samikov@mail.ru.

Razyapov Makhmut Magdutovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: mahmut@mail.ru.

Khayretdinova Roksana Rashitovna, master's degree student, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Bashkir State Agricultural University, Ufa, Russian Federation, e-mail: kha-roksana@mail.ru.

Введение

Современные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия (КПД). Однако значительная часть мощности сгорающего топлива и часть полезной мощности (ДВС) безвозвратно рассеиваются в атмосферу через выхлопную систему, систему охлаждения, трансмиссию и вспомогательные механизмы автомобиля. Возникает необходимость сбора и последующего использования (рекуперации) тепловых потерь и экономии топлива автомобилем [1]. Для этих целей в различных странах разрабатываются автомобильные термоэлектрические генераторы (АТЭГ), которые размещаются на выхлопной трубе автомобиля [2]. При этом часть тепла выхлопных газов отводится на вход АТЭГ, где преобразуется в полезную электрическую мощность с помощью эффекта Зеебека [3, 4].

Цель работы:

- 1) исследование работы термоэлектрического генератора в системе выпуска отработавших газов ДВС;
- 2) выбор оптимальной конструкции проточной области термоэлектрического генератора;
- 3) сборка прототипа термоэлектрического генератора и последующее проведение экспериментальных исследований;
- 4) вывести закономерность влияния рабочих температур АТЭГ на получаемую электрическую мощность.

Условия и методы исследования

Для 3D моделирования расчетных моделей термоэлектрического генератора (ТЭГ) была выбрана CAD система Ansys SpaceClaim. Смо-

делированы 3 модели с разной конструкцией проточной части: с продольным ребрением, с винтовой закруткой и под углом 90° к потоку в шахматном порядке.

ТЭГ имеет осесимметричную конструкцию с сечением проточной части в форме шестигранника (рис. 1). ТЭГ рассматриваемого типоразмера предназначен для установки в выпускную систему двигателя внутреннего сгорания. Отработавшие газы проходят через внутреннюю часть горячего теплообменника [5, 6]. Расположенный внутри проточной части расширитель потока обеспечивает их течение вблизи стенок горячего теплообменника. Термоэлектрические генераторные модули установлены к внешним граням горячего теплообменника с помощью пластин, действующих через жидкостные теплообменники.

Расчетная модель с продольным ребрением показана на рисунке 1.

В данной модели пластины 5 расположены параллельно потоку течения отработавших газов. Такой вид конструкции является простой для изготовления и имеет низкое газодинамическое сопротивление течению отработавших газов.

Расчетная модель, где на поверхности течения отработавших газов установлены пластины с винтовой закруткой (рис. 2) к потоку, обеспечивает турбулизацию течения газов. Благодаря винтовой закрутке теплоносителя возникает циркуляция газов в проточной части, что приводит к интенсивному теплообмену между корпусом ТЭГ и расширителем потока 3 и, как следствие, к интенсификации теплообмена.

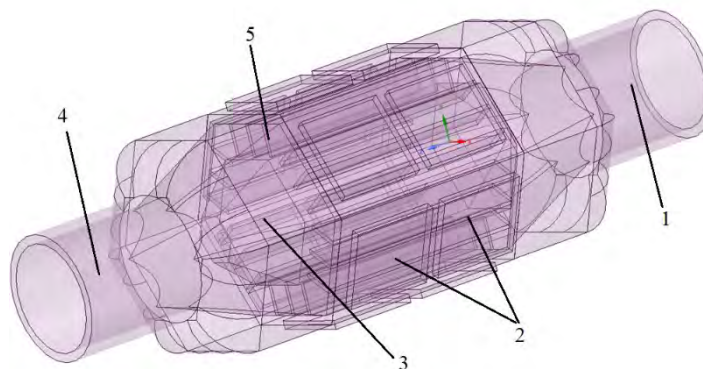


Рис. 1. Расчетная модель 1:

1 – выходной трубопровод отработавших газов; 2 – ТГМ; 3 – расширитель потока; 4 – выходной трубопровод отработавших газов; 5 – направляющие пластины

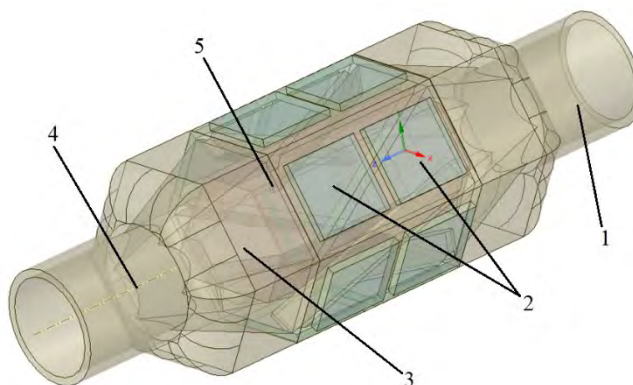


Рис. 2. Расчетная модель 2:

1 – выходной трубопровод отработавших газов; 2 – ТГМ; 3 – расширитель потока; 4 – выходной трубопровод отработавших газов; 5 – направляющие пластины

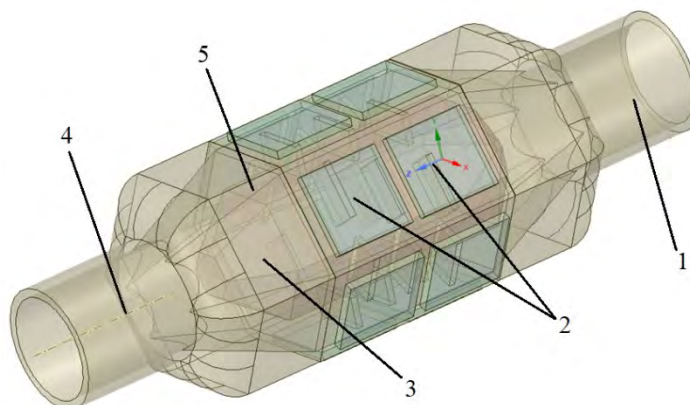


Рис. 3. Расчетная модель 3:

1 – выходной трубопровод отработавших газов; 2 – ТГМ; 3 – расширитель потока; 4 – выходной трубопровод отработавших газов; 5 – направляющие пластины

В модели 3 при течении газов создается лабиринт движению с высоким газодинамическим сопротивлением, данная конструкция выполнена с помощью установленных пластин, расположенных под углом 90° к потоку в шахматном порядке (рис. 3).

После моделирования расчетных моделей был выполнен тепловой расчет корпуса ТЭГа с

использованием пакета ANSYS Thermal Steady State, реализующий метод конечных элементов [6].

Расчёт в программном пакете ANSYS проходит в несколько этапов:

1) построение геометрий и моделирование исследуемых объекта в CAD системе Ansys SpaceClaim;

- 2) задание свойств материалов;
- 3) формирование начальных и граничных условий;
- 4) генерация конечно-элементной (КЭ) сетки с учётом геометрий объекта;
- 5) проведение расчета;
- 6) визуализация и обработка результатов.

Первый этап моделирования расчетных моделей был выполнен в CAD системе Ansys SpaceClaim [7]. Второй этап задания свойств материалов в рамках модуля Engineering Data, в качестве материала была взята конструкционная сталь 3 ГОСТ 380-2005. Этапы формирования граничных условий и КЭ сетки в рамках мо-

дуля Multiple Systems. На рисунке 4 показана КЭ сетка расчетных моделей.

После создания твердотельной конечно-элементной сетки моделей был произведен термический анализ поверхности нагрева ТЭГ.

Для расчетных моделей были заданы следующие физические условия: в качестве материала трубы в форме шестигранника выбрана сталь 3, в качестве газов – отработавшие газы ДВС; начальные условия: температура трубы 20°; граничные условия: температура отработавших газов на входе 500°; геометрические условия: длина трубы 0,12 м, толщина стенки 0,001 м.

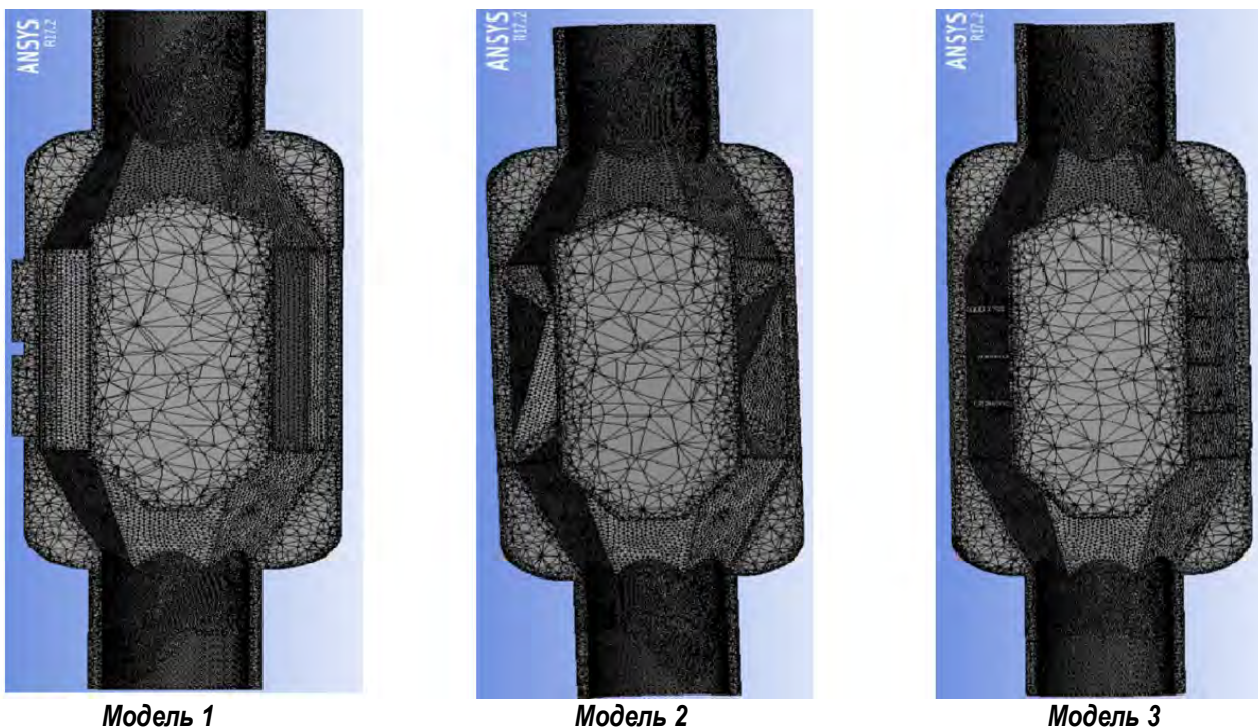


Рис. 4. Конечно-элементная сетка модели:
 модель 1 – с продольным оребрением; модель 2 – с винтовой закруткой;
 модель 3 – с пластинами под углом 90° к потоку

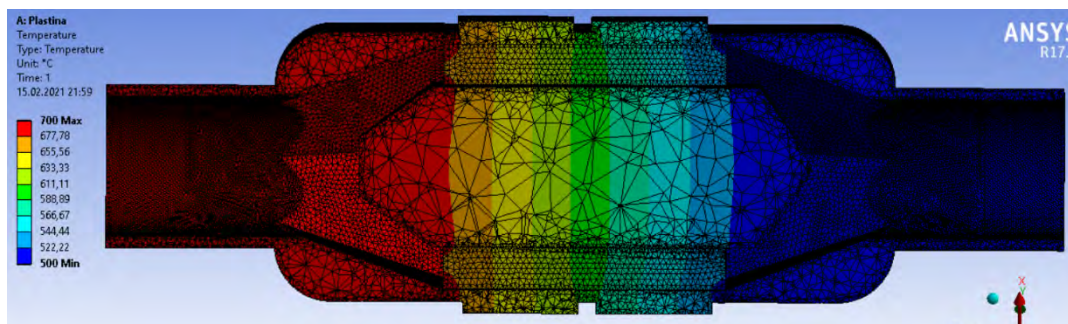


Рис. 5. Карта распределения температур модели 1

По карте распределения температуры модели 1 видно, что максимальная температура составляет 700° , минимальная – 500° .

Следующая расчетная модель с винтовой закруткой:

Тепловой расчет модели 2 показал, что минимальная температура по сравнению с первой модели снизилась на 27° .

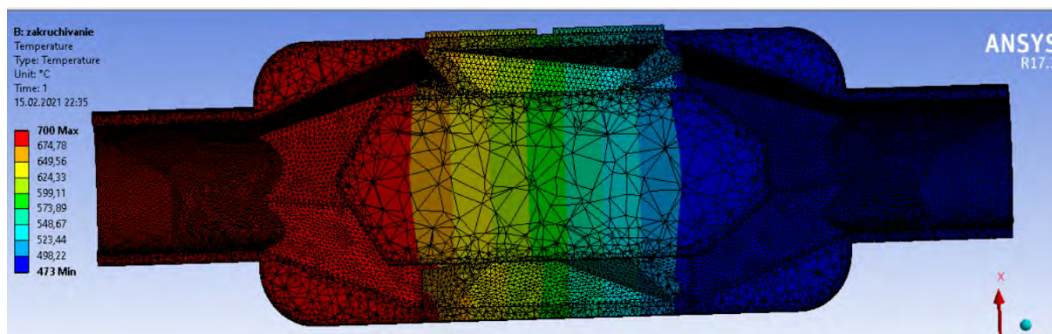


Рис. 6. Карта распределения температур модели 2

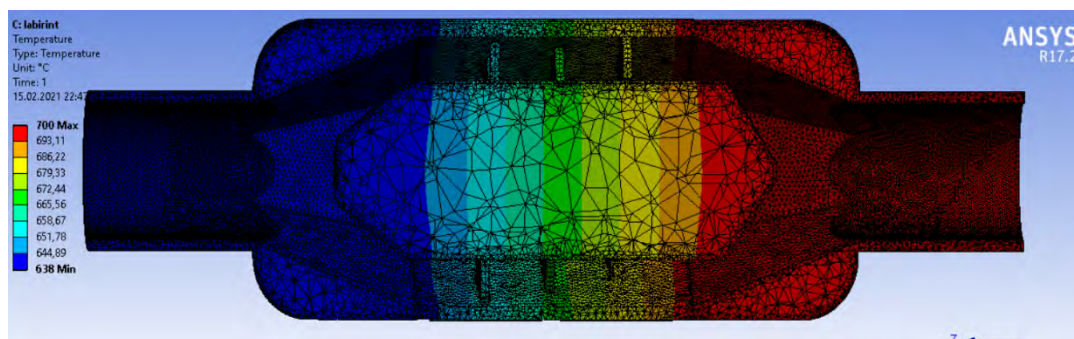


Рис. 7. Карта распределения температур модели 3

По карте распределения температур на поверхности модели 3 видно, что максимальное значение достигает 700° .

Для наиболее оптимального выбора модели изготовления проточной области термоэлектрического генератора проведем дополнительно гидродинамический расчет в программе Solidworks Flow Simulation. Далее на рисунках 8-10 показаны результаты газодинамических расчетов.

По карте распределения давления, где проточная часть выполнена в виде продольного оребрения, видно, что максимальное давление составляет 170 кПа.

По карте распределения давления, где проточная часть выполнена в виде винтовой закрутки, видно, что максимальное давление составляет 231 кПа.

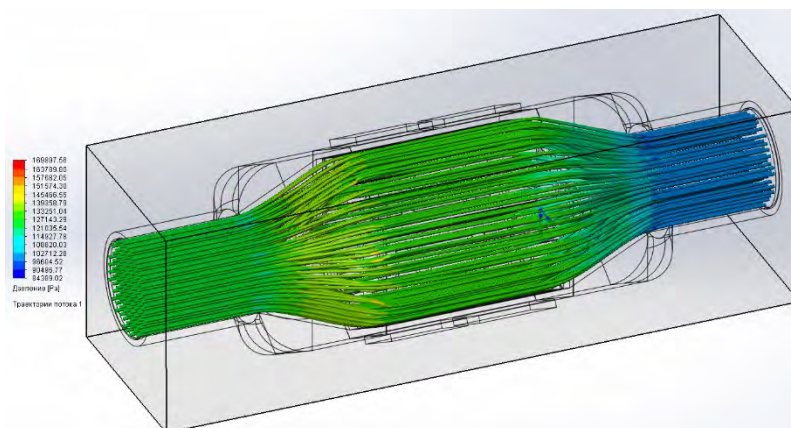


Рис. 8. Карта распределения давления модели 1

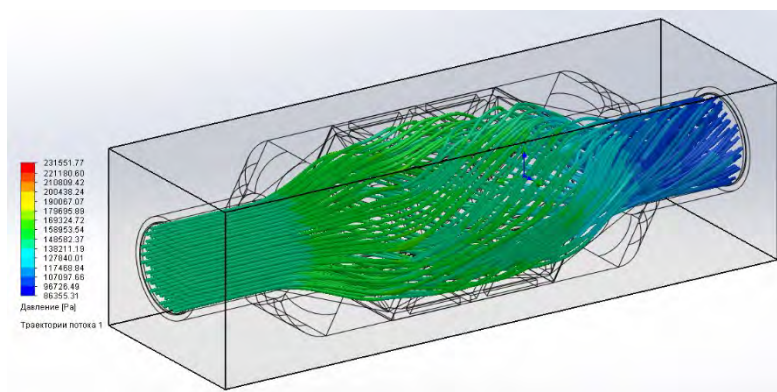


Рис. 9. Карта распределения давления модели 2

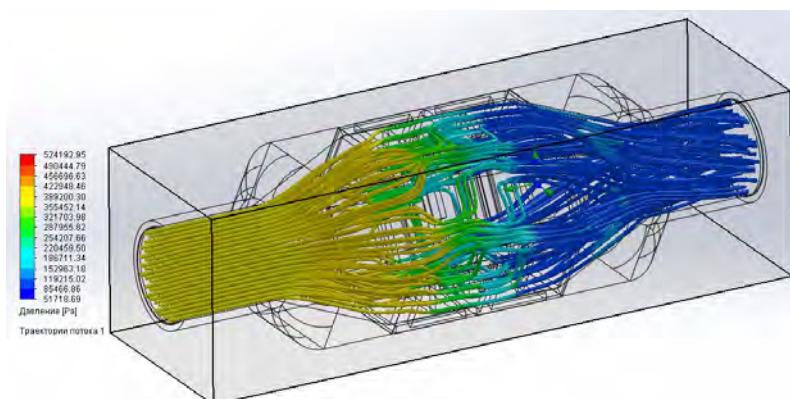


Рис. 10. Карта распределения давления модели 3

По карте распределения давления, где точная часть выполнена в виде лабиринта, видно, что максимальное давление составляет 524 кПа.

После выполнения расчетов основные выходные параметры были соотнесены в таблицу 1, по которой можно сравнить температурные и газодинамические параметры расчетных моделей.

По приведенном расчету наиболее эффективной моделью является модель 1, так как создаваемое сопротивление течению выхлопных

газов является минимальной (составляет 170 кПа) и средняя температура нагрева стенок ТЭГ – оптимальной (составляет 500°C).

Экспериментальная часть

После проведения теоретических расчетов и выбора оптимальной конструкции теплообменника был собран экспериментальный образец ТЭГа (рис. 11).

В качестве силовой установки использовался лабораторный стенд, функционирующий от двигателя Д-65.

Таблица 1

Сводная таблица результатов теоретических расчетов в программных средах

Параметр	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Давление выхлопных газов на стенки ТЭГ P_{123}^{TEG} , кПа	Максимальное значение		
	169	231	524
	Среднее значение		
	127	158	287
Скорость выхлопных газов на входе в ТЭГ, м/с	9,5	11,5	19,4
Скорость выхлопных газов на выходе с ТЭГ, м/с	8,4	9,8	14,3
Скорость выхлопных газов в области ТЭГ, м/с	6,4	5,7	12,5
Средняя температура стенок ТЭГ, °C	500	473	638

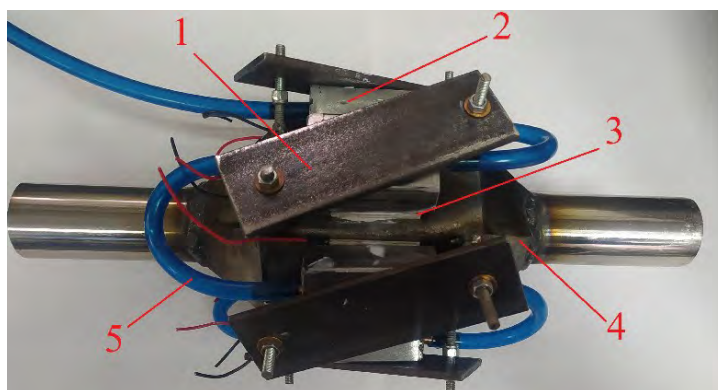


Рис. 11. Образец ТЭГа:

1 – прижимные пластины; 2 – теплообменники; 3 – термоэлектрические генераторные модули; 4 – корпус ТЭГа; 5 – жидкостные трубки

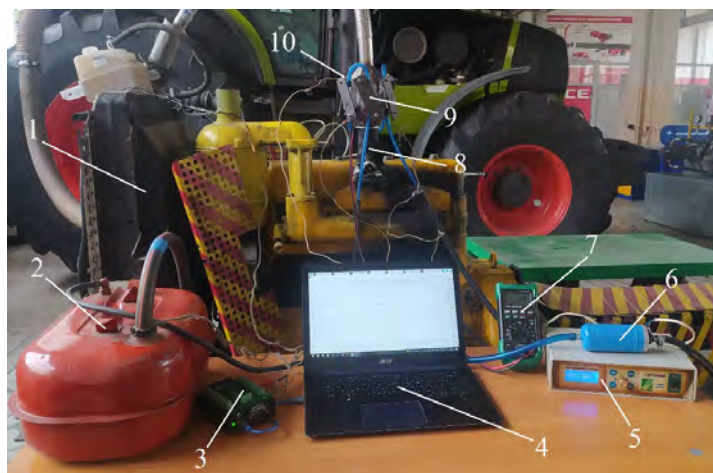


Рис. 12. Фотографии экспериментальной установки и собранного прототипа:

1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – емкость с жидкостью; 3 – аналого-цифровой преобразователь; 4 – персональный компьютер; 5 – имитатор широтно-импульсной модуляции; 6 – импульсный насос; 7 – мультиметр; 8 – приемная труба выхлопной системы; 9 – термоэлектрический генератор; 10 – термопары типа Хромель-копель

Данная экспериментальная установка (рис. 12) работает следующим образом: после запуска двигателя внутреннего сгорания 1 циркуляционный насос начинает перекачивать охлаждающую жидкость с емкости 2 в холодные теплообменники термоэлектрического генератора 9. Выхлопные газы ДВС протекая через корпус ТЭГа (рис. 11), нагревают его стенки. Термоэлектрические генераторные модули (ТГМ), установленные между теплообменниками и стенками ТЭГа, благодаря созданной разности температур генерируют электрическую энергию. Аналого-цифровой преобразователь 3 с помощью термопар 10 регистрирует изменение температуры в ключевых местах экспериментальной установки, мультиметр 7 записывает показания генерируемой электрической энергии с термоэлектрического генератора 9. Производительность импульсного циркуляционного

насоса 6 регулируется с помощью имитатора широтно-импульсной модуляции 5.

Результаты исследований и их обсуждение

После проведения экспериментальных исследований был построен график зависимости генерируемого напряжения с ТЭГ от температуры стенок на горячих сторонах ТГМ [8] при стабильной температуре охлаждающей жидкости 90°C.

Максимальная генерируемая мощность с разработанного термоэлектрического генератора составила 82,14 Вт с использованием 6 модулей – 22,4 В (рис. 13). На временном диапазоне от 0 до 100 с работы экспериментальной установки видно, что генерируемое напряжение с термоэлектрического генератора стремительно растет до отметки 21,7 В, далее значение стабилизируется до напряжения 22 В.

Температура горячих стенок ТЭГа, соответствующее значениям: 203, 225, 238, 250, 265, 290, 314, 332, 345, 351, 364, 363°C, была отмечена на кривой мощности ТЭГ (рис. 13).

Далее были проведены экспериментальные исследования с изменением температуры хо-

лодной стенки ТЭГ с шагом 5°C, температуры на горячих стенках ТЭГ 40°C (табл. 2).

По полученным данным был построен объёмный график зависимости выходной мощности с ТЭГа от температуры на горячих и холодных стенках ТЭГа (рис. 14).

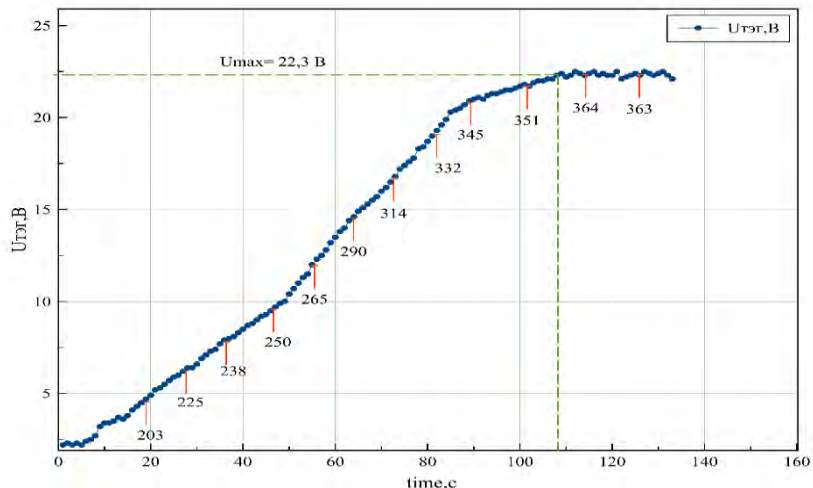


Рис. 13. График зависимости генерируемого напряжения с ТЭГ от температуры стенок на горячих сторонах ТГМ при стабильной температуре охлаждающей жидкости 90°C

Таблица 2

Результаты зависимости выходной мощности (Вт) с ТЭГа от изменения температуры на горячих и холодных стенках ТЭГа

Температура холодной стенки ТЭГ, °С	Температура горячих стенок ТЭГ, °С									
	205		245		285		325		365	
	Количество модулей ТГМ									
	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1
90	5,69	0,94	20,1	3,35	40,39	6,73	62,17	10,36	82,19	13,69
95	5,58	0,93	20,0	3,33	39,83	6,63	61,13	10,17	80,81	13,46
100	5,35	0,89	19,86	3,31	39,1	6,51	59,96	9,93	80,24	13,37
105	5,26	0,87	19,7	3,28	38,17	6,36	58,61	9,76	78,51	13,08

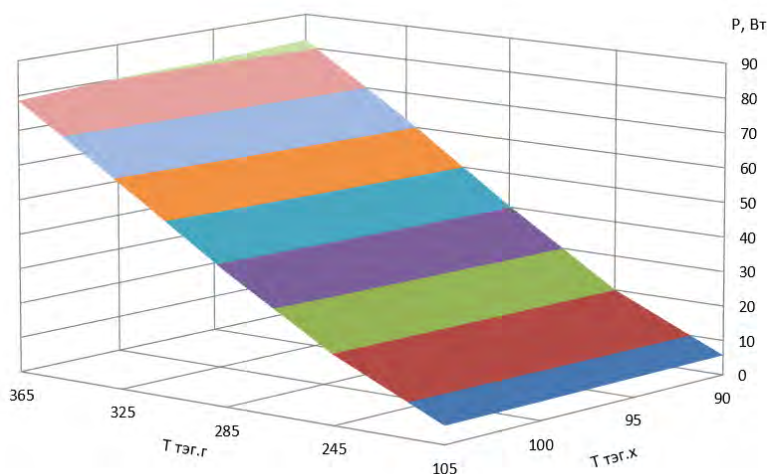


Рис. 14. Объёмный график зависимости выходной мощности с ТЭГа от температуры на горячих и холодных стенках ТЭГа

По приведенному объёмному графику можно сделать вывод, что при температуре холодной стороны 90°C и горячей 365°C генерируемая электрическая мощность составляет 82,14 Вт, при повышении температуры холодной стороны до 105°C ведет за собой падение мощности на 7%.

Заключение

1. Проведен тепловой и гидродинамический расчёт теплообменников ТЭГа, по результатам которого определена наиболее эффективная конструкция проточной области теплообменника термоэлектрического генератора.

2. Был собран экспериментальный прототип термоэлектрического генератора. Максимальная генерируемая электрическая мощность составила 82,14 Вт.

3. Применение разработанного термоэлектрического генератора позволяет: получить дополнительный источник постоянного тока; повысить степень использования выделяющегося при сгорании топлива тепла ДВС, тем самым частично снизить затраты топлива на привод генератора; обеспечить электроэнергией потребителей постоянного тока на минимальных оборотах коленчатого вала ДВС и при аварийных ситуациях, когда выходные параметры источника тока нестабильны; возможно генерирование электроэнергии в течение 5-10 мин. с момента остановки двигателя.

Библиографический список

1. Kim, T.Y., Negash, A.A., Cho, G. (2017). Experimental study of energy utilization effectiveness of thermoelectric generator on diesel engine. *Energy*. 128, 531-539.

2. Кадзикава, Т. Успехи в области термоэлектрической технологии генерирования электроэнергии в Японии / Т. Кадзикава. – Текст: непосредственный // Термоэлектричество. – 2011. – № 3. – С. 5-19.

3. Nigmatullin, S., Gabitov, I., Izmailov, A., Negovora, A., Samikov, R., Razyapov, M. (2020). Efficient use of energy resources of the generator of hot gases in the thermal preparation of motor vehicles. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 10. 228-235. DOI: 10.32479/ijeep.8503.

4. Автономная система предпусковой подготовки двигателя с термоэлектрическим генератором: RU 192532 U1. 23.09.2019. Заявка № 2019111818 от 18.04.2019 / Самиков Р. Ф.,

Габитов И. И., Неговора А. В., Разяпов М. М. – Текст: непосредственный.

5. Zhou M, He Y, Chen Y. (2014). A heat transfers numerical model for thermoelectric generator with cylindrical shell and straight fins under steady-state conditions. *Applied Thermal Engineering*. 68: 80-91. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.04.018.

6. Разработка фундаментальных основ создания прототипов энергоэффективных теплообменников с поверхностной интенсификацией теплообмена / А. И. Леонтьев, Ю.Ф. Гортышов, В. В. Олимпиев [и др.]. – Текст: непосредственный // Труды 4-й РНКТ. – 2006. – Т. 1. – С. 253-257.

7. Li B., Huang K., Yan Y., Li Y., Twaha S., Zhu J. (2017). Heat transfer enhancement of a modularised thermoelectric power generator for passenger vehicles. *Applied Energy*. 205: 868-879. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.092.

8. Термоэлектрические модули и устройства на их основе: справочное пособие. – Санкт-Петербург: ИПФ «Криотерм», 2004. – 53 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Kim, T.Y., Negash, A.A., Cho, G. (2017). Experimental study of energy utilization effectiveness of thermoelectric generator on diesel engine. *Energy*. 128, 531-539.

2. Kadzikava T. Uspekhi v oblasti termoelktricheskoi tekhnologii generirovaniia elektroenerгии v Iaponii / T. Kadzikava // Termoelktrichestvo. – 2011. – No. 3. – S. 5-19.

3. Nigmatullin, S., Gabitov, I., Izmailov, A., Negovora, A., Samikov, R., Razyapov, M. (2020). Efficient use of energy resources of the generator of hot gases in the thermal preparation of motor vehicles. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 10. 228-235. DOI: 10.32479/ijeep.8503.

4. Samikov R.F., Gabitov I.I., Negovora A.V., Raziapov M.M. Avtonomnaia sistema predpuskovoi podgotovki dvigatel'ia s termoelktricheskim generatorem: RU 192532 U1, 23.09.2019. Zaiavka No. 2019111818 ot 18.04.2019.

5. Zhou M, He Y, Chen Y. (2014). A heat transfers numerical model for thermoelectric generator with cylindrical shell and straight fins under steady-state conditions. *Applied Thermal Engineering*. 68: 80-91. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.04.018.

6. Leontev A.I., Gortyshev Iu.F., Oлимпиев V.V., Dilevskaia E.V., Popov I.A., Kaskov S.I., Shchelchkov A.V. Razrabotka fundamentalnykh

osnov sozdaniia prototipov energoeffektivnykh teploobmennikov s poverkhnostnoi intensivatsiei teploobmena // Tr. 4-oi RNKT. – 2006. – Т. 1. – S. 253-257.

7. Li B., Huang K., Yan Y., Li Y., Twaha S., Zhu J. (2017). Heat transfer enhancement of a

modularised thermoelectric power generator for passenger vehicles. *Applied Energy*. 205: 868-879. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.08.092.

8. Termoelektricheskie moduli i ustroistva na ikh osnove: sprav. posobie. – Sankt-Peterburg: IPF «Krioterms», 2004. – 53 с.



УДК 636.084.13

DOI: 10.53083/1996-4277-2022-208-2-110-117

А.Г. Христенко, И.Ю. Александров, А.А. Диденко, Е.А. Пшенов, М.В. Кокшарова, Ю.А. Бекова
A.G. Khristenko, I.Yu. Aleksandrov, A.A. Didenko, E.A. Pshenov, M.V. Koksharova, Yu.A. Bekova

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АДАПТИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ ТЕЛЯТ МОЛОЧНОГО ПЕРИОДА

SUBSTANTIATION OF USING PHYSIOLOGICALLY ADAPTED EQUIPMENT FOR PRE-WEANED CALF FEEDING

Ключевые слова: телята, молочный период, пищеварение телят, физиология, сосковая полка, желудочно-кишечный тракт, привес массы телят.

Проведен сравнительный анализ способов поения телят молочного периода и обоснование необходимости применения физиологически адаптированного оборудования для их кормления. Приведены исследования поения телят молочного периода двумя способами: из ведер и ведер с сосками. В качестве сравнительного показателя выбран привес телят, определяемый при их контрольном взвешивании в течение 3 месяцев. Определены также затраты времени на поение телят различными способами. Исследованиями установлено, что при поении телят из ведер с сосками их среднесуточные привесы выше, чем при поении из обычных ведер, более чем на 100 г. Исследованиями отражено снижение активности сосательного рефлекса после поения телят из ведер с сосками, а также снижение у них диспепсии более чем на 90% и увеличение интенсивности поедания сухого корма.

Keywords: calves, pre-weaned period, calf digestion, physiology, calf nurser, gastrointestinal tract, calf weight gain.

A comparative analysis of the methods of pre-weaned calf rearing and the substantiation of the need to use physiologically adapted equipment for calf feeding was carried out. Two methods of pre-weaned calf rearing were studied: bucket rearing and nipple pail rearing. Calf weight gain determined by control weighing for three months was the comparative indicator. The time spent on calf rearing in various ways was also determined. It was found that when rearing calves from nipple pails, their average daily weight gain was higher than when rearing from ordinary buckets by more than 100 g. The studies revealed decreased sucking reflex activity after nipple pail rearing, and decreased dyspepsia cases by more than 90% and an increased intensity of dry feed eating.

Христенко Александр Геннадьевич, к.т.н, доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: a-hristenko@mail.ru.

Александров Игорь Юрьевич, к.т.н, доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: ig.aleksandrov@mail.ru.

Диденко Александр Александрович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: didenkonsau@mail.ru.

Khristenko Aleksandr Gennadevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Russian Federation, e-mail: a-hristenko@mail.ru.

Aleksandrov Igor Yurevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: ig.aleksandrov@mail.ru.

Didenko Aleksandr Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Russian Federation, e-mail: didenkonsau@mail.ru.