7universum.com
UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

UNIVERSUM:
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научный журнал
Издается ежемесячно с декабря 2013 года

Выпуск: 6(147)

Июнь 2026

Часть 5

Москва
2026

Содержание

Статьи на русском языке **4**

Промышленность и производство **4**

Металлургия, материаловедение и горное дело **4**

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОБОГАТИМОСТИ ОКИСЛЕННЫХ И СМЕШАННЫХ МЕДНЫХ РУД ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ 4
Куралов Ойбек Каримкулович
Усенов Расул Бовиржонович
Ибрагимов Иззатилла Сулаймонович
Чон Ён
Холматова Сарвиноз Улугбековна

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ И ПЕСКОСТРУЙНОЙ ГРАВИРОВКИ НА СТЕКЛЕ И СЛОЖНЫХ ФОРМАХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 16
Саркисян Сергей Степанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РУДЫ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ПРИ ФЛОТАЦИОННОМ ОБОГАЩЕНИИ 26
Турсунова Фотима Абдували кизи
Турсунова Зухра Абдували кизи

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МОЛИБДЕНА В КОНЦЕНТРАТ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ РУД 30
Хасанов Адхам Аманкулович
Хожимуратова Хилола Баходировна

Машиностроение и робототехника **38**

УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ 38
Абед Нодира Сойибжоновна
Тухташева Малохат Нафасовна
Негматов Сайибжан Садыкович
Бозорбоев Шухрат Абдурахимович
Бозоров Аминжон Нуриллоевич
Ходжиматов Умид Тургунбой угли

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ CHEVROLET COBALT В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН 47
Мансуров Ботырхан Фарход угли
Киямов Асрор Зиядуллаевич-

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CMA-ES 59
Цыпкина Виктория Вячеславовна
Булатбаева Юлия Феликсовна
Иванова Вера Павловна
Косымбаев Рауан Болатович
Акбаров Фаррух Анвар уғли
Уроков Сардор Эркинович
Турабеков Айбек Улугбекович

Статья поступила в редакцию: 10.06.2026

Статья принята к публикации: 15.06.2026

Статья опубликована: 28.06.2026

УДК 621.43:621.577

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ CHEVROLET COBALT В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Мансуров Ботырхан Фарход угли
студент
Каршинского государственного технического университета,
Узбекистан, г. Карши

Киямов Асрор Зиядуллаевич-
доц.
кафедры Транспортной инженерии
Каршинского государственного технического университета,
Узбекистан, г. Карши
E-mail: asror.kiyamov@mail.ru

ASSESSMENT OF THE ENERGY POTENTIAL OF THERMAL ENERGY RECOVERY FROM CHEVROLET COBALT EXECUTION GASES IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Mansurov Botyrkhan Farkhod
Student,
Karshi State Technical University,
Uzbekistan, Karshi

Kiyamov Asror Ziyadullaevich
Associate Professor,
Department of Transport Engineering,
Karshi State Technical University,
Uzbekistan, Karshi

Аннотация

Повышение энергетической эффективности автомобильного транспорта является одной из актуальных задач современного автомобилестроения. Значительная часть энергии топлива в двигателях внутреннего сгорания теряется в виде тепловой энергии, уносимой системой охлаждения и выхлопными газами. Особый интерес представляет использование термоэлектрических генераторов, позволяющих преобразовывать часть тепловой энергии выхлопных газов в электрическую энергию.

Библиографическое описание: Киямов А.З., Мансуров Б.Ф. ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ CHEVROLET COBALT В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 6(147). URL: *https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23010*

В статье выполнена расчётно-аналитическая оценка энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt, широко эксплуатируемого в Республике Узбекистан. Рассмотрено влияние температуры выхлопных газов и температуры окружающей среды на эффективность работы термоэлектрического генератора.

Проведён анализ теплового потенциала выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt для различных режимов эксплуатации и температур выхлопных газов в диапазоне 300–800 °C, характерном для различных режимов работы двигателя. Определены возможные значения электрической мощности, получаемой при использовании термоэлектрической рекуперации. Установлено, что климатические условия Республики Узбекистан оказывают существенное влияние на температурный режим работы термоэлектрического генератора и эффективность преобразования энергии.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке энергосберегающих систем автомобильного транспорта и совершенствовании гибридных силовых установок.

Abstract

Improving the energy efficiency of automotive transport is one of the key challenges of modern automotive engineering. A significant portion of the fuel energy in internal combustion engines is lost in the form of thermal energy dissipated through the cooling system and exhaust gases. Of particular interest is the use of thermoelectric generators, which make it possible to convert part of the thermal energy of exhaust gases into electrical energy.

This paper presents a computational and analytical assessment of the energy potential for recovering thermal energy from the exhaust gases of the Chevrolet Cobalt passenger car, which is widely operated in the Republic of Uzbekistan. The influence of exhaust gas temperature and ambient temperature on the performance efficiency of a thermoelectric generator is investigated.

An analysis of the thermal potential of Chevrolet Cobalt exhaust gases was carried out for various operating conditions and exhaust gas temperatures in the range of 300–800 °C, which is typical for different engine operating modes. The potential electrical power that can be generated through thermoelectric energy recovery was determined. It was established that the climatic conditions of the Republic of Uzbekistan have a significant impact on the operating temperature regime of the thermoelectric generator and on the energy conversion efficiency.

The obtained results can be used in the development of energy-saving automotive systems and in the improvement of hybrid powertrain technologies.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, Chevrolet Cobalt, рекуперация энергии, термоэлектрический генератор, выхлопные газы, энергетическая эффективность, температура выхлопных газов, климатические условия Узбекистана.

Keywords: internal combustion engine, Chevrolet Cobalt, energy recovery, thermoelectric generator, exhaust gases, energy efficiency, exhaust gas temperature, climatic conditions of Uzbekistan.

Введение

В современных условиях развития автомобильного транспорта особое значение приобретают вопросы повышения энергетической эффективности двигателей внутреннего сгорания

и снижения расхода топлива. Несмотря на значительный прогресс в области совершенствования систем впрыска топлива, турбонаддува и электронного управления двигателями, значительная часть энергии топлива по-прежнему безвозвратно теряется в окружающую среду.

Согласно результатам многочисленных исследований, только 30–40 % химической энергии топлива преобразуется в полезную механическую работу, тогда как остальная энергия рассеивается через систему охлаждения и выхлопные газы. [1–4, 11-14] При этом доля тепловой энергии, уносимой выхлопными газами, может достигать 35–40 % от общего энергетического баланса двигателя. [1–4, 11-14]

Одним из перспективных направлений повышения энергетической эффективности транспортных средств является использование систем рекуперации тепловой энергии выхлопных газов. Среди существующих технологий особое место занимают термоэлектрические генераторы, работа которых основана на эффекте Зеебека. [3, 4, 6, 7] Данные устройства позволяют непосредственно преобразовывать тепловую энергию в электрическую без применения дополнительных механических преобразователей.

В работах ряда исследователей выполнены расчётные и экспериментальные исследования термоэлектрических генераторов, устанавливаемых в выпускной системе двигателей внутреннего сгорания. [1, 2, 5, 8, 9]

Наиболее существенные результаты получены при исследовании конструкций теплообменников, параметров теплообмена и характеристик термоэлектрических модулей. [5–9] Однако большинство известных исследований посвящено конструктивным особенностям термоэлектрических генераторов и их экспериментальным характеристикам.

Вместе с тем вопросы оценки энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов в специфических климатических условиях Республики Узбекистан остаются недостаточно изученными. Республика Узбекистан характеризуется резко континентальным климатом, при котором температура окружающего воздуха в летний период может превышать +45 °C. [10] Данные условия оказывают существенное влияние на процессы теплообмена и эффективность работы термоэлектрических систем.

В связи с этим возникает необходимость исследования возможности применения термоэлектрической рекуперации энергии на наиболее распространённых автомобилях, эксплуатируемых на территории Республики Узбекистан. [1–2]

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбран автомобиль Chevrolet Cobalt, оснащённый бензиновым двигателем рабочим объёмом 1,5 л и мощностью 78 кВт (106 л.с.), широко эксплуатируемый на территории Республики Узбекистан

Предмет исследования

Предметом исследования являются закономерности изменения энергетического потенциала выхлопных газов и эффективности термоэлектрического преобразования энергии в зависимости от температуры выхлопных газов и температуры окружающей среды.

Цель исследования

Целью исследования является оценка энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt с использованием термоэлектрического генератора в климатических условиях Республики Узбекистан.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в расчётно-аналитической оценке энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt применительно к климатическим условиям Республики Узбекистан.

Впервые выполнен анализ влияния температуры окружающей среды, характерной для климатических условий Республики Узбекистан, на потенциальную эффективность термоэлектрической рекуперации энергии выхлопных газов.

Определены диапазоны температур выхлопных газов, обеспечивающие наибольшую эффективность работы термоэлектрического генератора в условиях эксплуатации автомобиля Chevrolet Cobalt.

Практическая значимость

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при проектировании и внедрении систем рекуперации тепловой энергии на автомобилях, эксплуатируемых в условиях Республики Узбекистан.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке энергосберегающих технологий автомобильного транспорта, а также при создании перспективных гибридных силовых установок.

Методика исследования

Для оценки энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов был проведён расчётно-аналитический анализ работы бензинового двигателя автомобиля Chevrolet Cobalt в условиях эксплуатации Республики Узбекистан.

В качестве объекта исследования выбран автомобиль Chevrolet Cobalt с бензиновым двигателем рабочим объёмом 1,5 л, который является одним из наиболее распространённых легковых автомобилей, эксплуатируемых на территории Республики Узбекистан.

Исследование проводилось в несколько этапов.

2.1 Расчёт тепловой мощности топлива

Сначала определяется массовый расход топлива

$$\dot{m}_f = \frac{G_f \cdot \rho}{3600}$$

где:

$\dot{m}_f$ — массовый расход топлива, кг/с;

G_f — расход топлива, л/ч;

ρ — плотность топлива, кг/л.

Затем определяется тепловая мощность топлива

$$N_{fuel} = \dot{m}_f \cdot H_u$$

где:

N_{fuel} — тепловая мощность топлива, кВт;

H_u — низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

2.2 Расчёт тепловой мощности выхлопных газов

Согласно литературным данным, доля тепловой энергии, отводимой с выхлопными газами бензиновых двигателей, обычно находится в пределах 30–40 % от общей энергии топлива. В связи с тем, что в настоящей работе выполняется предварительная расчётно-аналитическая оценка энергетического потенциала рекуперации для автомобиля Chevrolet Cobalt, для расчётов принято среднее значение коэффициента k=0,35. Данное значение используется не как экспериментально установленная характеристика двигателя B15D2, а как обоснованное расчётное допущение, применяемое в аналогичных исследованиях систем термоэлектрической рекуперации теплоты выхлопных газов [1–4, 11-14]. Поэтому тепловая мощность выхлопных газов определяется выражением

$$N_{exh} = k \cdot N_{fuel}$$

где:

N_{exh} — тепловая мощность выхлопных газов, кВт;

N_{fuel} — тепловая мощность топлива, кВт;

k — доля энергии, уносимой выхлопными газами (k=0,35).

2.3 Расчёт электрической мощности термоэлектрического генератора

Электрическая мощность термоэлектрического генератора определяется по формуле

$$N_{TEG} = \eta_{TEG} \cdot N_{exh}$$

где:

N_{TEG} — электрическая мощность термоэлектрического генератора, Вт;

η_{TEG} — коэффициент полезного действия термоэлектрического генератора;

N_{exh} — тепловая мощность выхлопных газов, кВт.

2.4. Обработка и анализ результатов

По результатам расчётов были построены зависимости:

тепловой мощности выхлопных газов от температуры выхлопа;

электрической мощности термоэлектрического генератора от температуры выхлопных газов;

эффективности рекуперации от температуры окружающей среды;

потенциального прироста общего КПД двигателя при использовании термоэлектрического генератора.

Полученные зависимости позволили оценить эффективность применения систем термоэлектрической рекуперации энергии на легковых автомобилях в условиях Республики Узбекистан и определить наиболее рациональные режимы их эксплуатации.

Результаты расчётов и их обсуждение

3.1. Оценка теплового потенциала выхлопных газов двигателя Chevrolet Cobalt

В качестве объекта исследования был рассмотрен автомобиль Chevrolet Cobalt с бензиновым двигателем рабочим объёмом 1,5 л мощностью 78 кВт (106 л.с.).

Известно, что в двигателях внутреннего сгорания около 35–40 % энергии топлива теряется через выхлопную систему. [1–4, 11-14] Данная энергия представляет значительный интерес для последующей рекуперации.

Выполнен расчёт теплового потенциала выхлопных газов для различных режимов работы двигателя.

Полученные данные показывают, что при переходе от холостого хода к нагрузочным режимам работы двигателя существенно возрастает доступный тепловой потенциал выхлопных газов. Полученные результаты представлены на рис. 1.

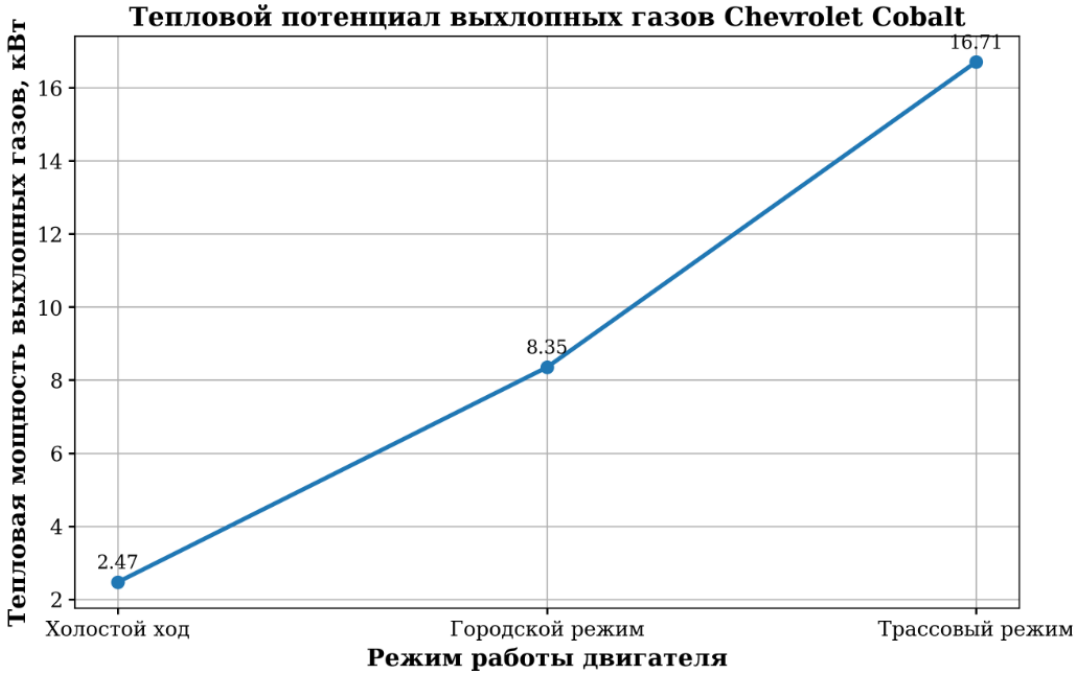


Рисунок 1. Тепловой потенциал выхлопных газов Chevrolet Cobalt

Как видно из рис. 1, при переходе от холостого хода к трассовому режиму эксплуатации тепловой потенциал выхлопных газов возрастает почти в 7 раз — с 2,47 до 16,71 кВт, что свидетельствует о высокой перспективности рекуперации энергии при повышенных нагрузках двигателя.

3.2. Расчёт потенциальной мощности термоэлектрического генератора

Для оценки потенциальной эффективности термоэлектрической рекуперации в работе были рассмотрены три сценария коэффициента полезного действия термоэлектрического генератора, соответствующие различному уровню развития термоэлектрических технологий.

Значение **η = 3 %** принято для серийно выпускаемых термоэлектрических модулей на основе теллурида висмута (Bi_2Te_3), применяемых в низкотемпературных системах утилизации теплоты. Значение **η = 5 %** соответствует усовершенствованным промышленным решениям, используемым в опытных автомобильных системах рекуперации энергии. Значение **η = 8 %** отражает уровень эффективности перспективных лабораторных разработок и высокоэффективных термоэлектрических модулей нового поколения, рассматриваемых как возможное направление развития автомобильных систем утилизации теплоты. Для оценки эффективности рекуперации были рассмотрены три значения коэффициента полезного действия термоэлектрического генератора: [4,6,7, 11-14]

3 %;

5 %;

8 %.

Результаты расчётов представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчётная электрическая мощность термоэлектрического генератора

Режим работы	**Тепловой потенциал выхлопных газов, кВт**	**Мощность ТЭГ при η = 3 %, Вт**	**Мощность ТЭГ при η = 5 %, Вт**	**Мощность ТЭГ при η = 8 %, Вт**
Холостой ход	2,47	74	124	198
Городской режим	8,35	251	418	668
Трассовый режим	16,71	501	835	1336

Из таблицы видно, что даже при сравнительно невысоком коэффициенте полезного действия термоэлектрического генератора возможно получение дополнительной электрической мощности в диапазоне от 74 до 1336 Вт в зависимости от режима эксплуатации автомобиля и эффективности термоэлектрического генератора.

Для дополнительной оценки влияния температурного режима выхлопных газов была построена зависимость электрической мощности ТЭГ от температуры выхлопа в диапазоне 300–800 °C

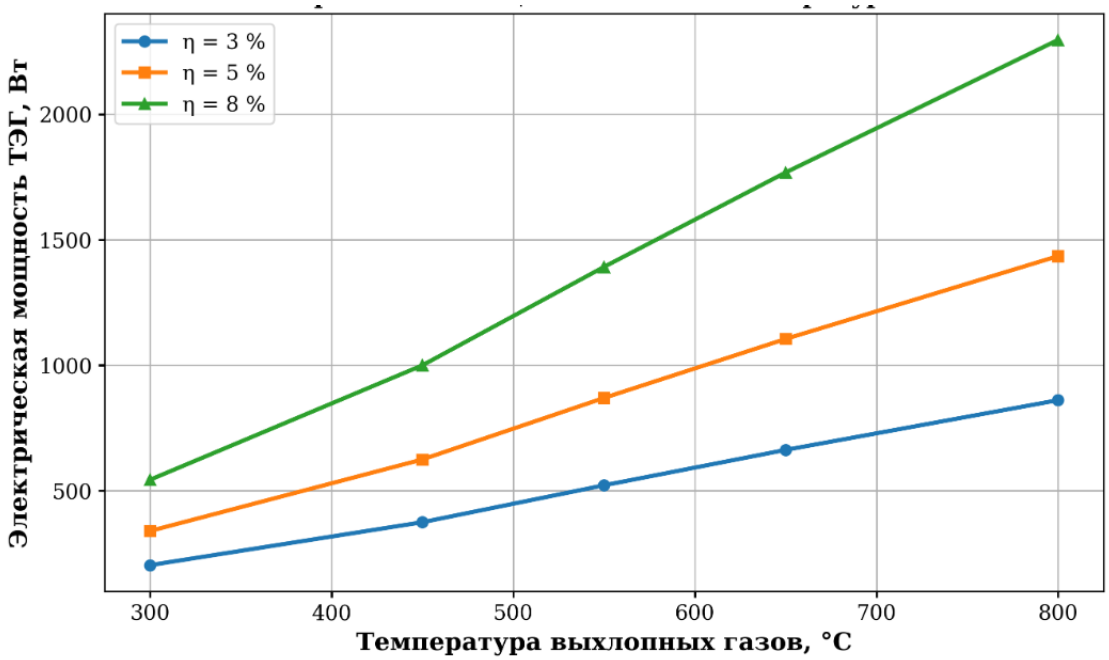


Рисунок 2. Зависимость электрической мощности термоэлектрического генератора от температуры выхлопных газов

При использовании современных термоэлектрических модулей с КПД порядка 8 % потенциальная мощность может превышать 2 кВт. [4,6,7, 11-14]

3.3. Влияние температуры окружающей среды

Особенностью эксплуатации автомобилей в Республике Узбекистан является высокая температура окружающей среды в летний период.

Для оценки влияния данного фактора были рассмотрены четыре температурных режима.

Для количественной оценки влияния температуры окружающей среды на эффективность термоэлектрического генератора рассмотрим изменение температурного перепада между горячей и холодной сторонами термоэлектрического модуля.

Температурный перепад определяется выражением:

$$\Delta T = T_{exh} - T_{amb}$$

где:

ΔT — температурный перепад, °C;

T_{exh} — температура выхлопных газов, °C;

T_{amb} — температура окружающей среды, °C.

Для характерного режима эксплуатации примем температуру выхлопных газов

$$T_{exh} = 400^{\circ}C$$

Тогда при стандартных условиях эксплуатации:

$$\Delta T_1 = 400 - 20 = 380 \circ C.$$

Для условий жаркого климата Республики Узбекистан:

$$\Delta T_2 = 400 - 45 = 355 ^\circ C.$$

Относительное снижение температурного перепада составит:

$$\delta = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\Delta T_1} \times 100$$

Подстановка значений даёт:

$$\delta = \frac{380 - 355}{380} \times 100 = 6{,}6\%$$

Установлено, что повышение температуры окружающей среды приводит к уменьшению температурного перепада между горячей и холодной сторонами термоэлектрического генератора, что согласуется с результатами исследований, посвящённых эксплуатации энергетических систем транспортных средств в условиях жаркого климата [10, 15].

Полученное снижение температурного перепада составляет около **6,6 %**, что свидетельствует об уменьшении потенциальной эффективности термоэлектрического преобразования энергии в условиях жаркого климата. С учётом дополнительных тепловых потерь и ухудшения условий охлаждения фактическое снижение эффективности может достигать **6–10 %**, что согласуется с литературными данными. Результаты расчётов представлены на рис. 3.

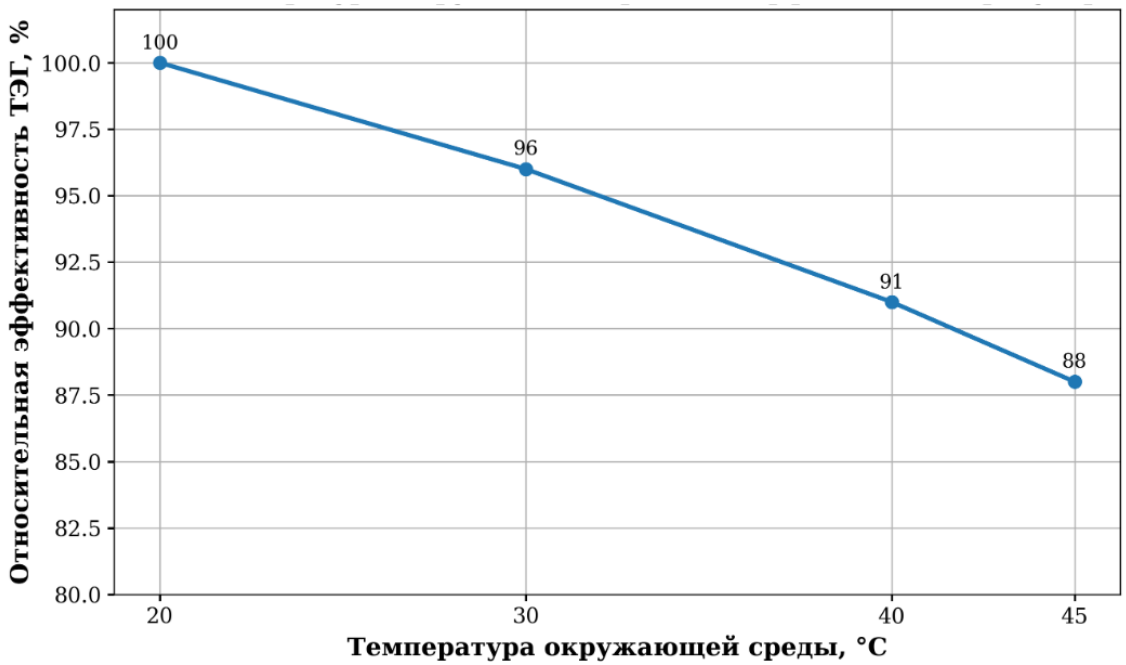


Рисунок 3. Зависимость эффективности рекуперации от температуры окружающей среды

Согласно рис. 3, повышение температуры окружающей среды от 20 до 45 °C приводит к уменьшению потенциальной эффективности ТЭГ. Расчётное снижение температурного перепада составляет 6,6 %, а с учётом дополнительных тепловых потерь фактическое снижение эффективности оценивается в пределах 6–10 %.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости применения более эффективных систем охлаждения термоэлектрических модулей при эксплуатации автомобилей в жарком климате Республики Узбекистан. [6, 7, 10,15]

3.4. Обсуждение результатов

Проведённые расчёты показали наличие значительного энергетического потенциала выхлопных газов двигателя автомобиля Chevrolet Cobalt.

Даже при сравнительно низком коэффициенте полезного действия термоэлектрических модулей возможно получение дополнительной электрической мощности, достаточной для питания части бортовых потребителей автомобиля. [5, 8, 9]

Наибольший эффект достигается при работе двигателя под высокой нагрузкой, когда температура выхлопных газов превышает 600 °C. [8, 9]

Установлено, что климатические условия Республики Узбекистан оказывают заметное влияние на эффективность работы термоэлектрического генератора. При повышении температуры окружающей среды эффективность системы снижается вследствие уменьшения температурного градиента между рабочими поверхностями термоэлектрических модулей.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения систем термоэлектрической рекуперации тепловой энергии на автомобилях, эксплуатируемых в условиях Республики Узбекистан, и позволяют определить направления дальнейшего совершенствования подобных систем.

Наибольший потенциал рекуперации наблюдается в трассовом режиме, что связано с увеличением часового расхода топлива и ростом тепловой мощности выхлопных газов. В городском режиме потенциал ниже, однако получаемая электрическая мощность достаточна для частичного питания бортовых потребителей автомобиля.

Полученное снижение температурного перепада составляет около **6,6 %**, что свидетельствует об уменьшении потенциальной эффективности термоэлектрического преобразования энергии в условиях жаркого климата. С учётом дополнительных тепловых потерь и ухудшения условий охлаждения фактическое снижение эффективности может достигать **6–10 %**, что согласуется с литературными данными.

Следует отметить, что выполненное исследование носит расчётно-аналитический характер и направлено на предварительную оценку энергетического потенциала термоэлектрической рекуперации выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt.

В настоящей работе не рассматривалось влияние скорости движения автомобиля, геометрических параметров теплообменника и особенностей его конструкции на эффективность теплообмена и работу термоэлектрического генератора. Кроме того, не учитывалось изменение коэффициента теплоотдачи, обусловленное воздействием встречного воздушного потока при различных режимах движения транспортного средства.

Указанные факторы могут оказывать существенное влияние на фактические показатели системы рекуперации и являются предметом дальнейших экспериментальных и численных исследований.

Таким образом, применение термоэлектрического генератора на автомобиле Chevrolet Cobalt в условиях эксплуатации Республики Узбекистан может рассматриваться как перспективное направление повышения энергетической эффективности, особенно при движении в установившихся режимах.

Заключение

В работе выполнена расчётно-аналитическая оценка энергетического потенциала рекуперации тепловой энергии выхлопных газов автомобиля Chevrolet Cobalt, эксплуатируемого в климатических условиях Республики Узбекистан.

Проведённый анализ показал, что выхлопные газы двигателя обладают значительным запасом тепловой энергии, который может быть использован для дополнительной выработки электрической энергии с применением термоэлектрических генераторов. Установлено, что тепловой потенциал выхлопных газов изменяется в зависимости от режима работы двигателя и составляет от 2,47 кВт на холостом ходу до 16,71 кВт в трассовом режиме эксплуатации.

Расчёты показали, что при использовании современных термоэлектрических модулей с коэффициентом полезного действия 3–8 % возможно получение дополнительной электрической мощности в диапазоне от 74 до 1336 Вт. Полученная энергия может быть использована для питания отдельных бортовых потребителей автомобиля, что способствует снижению нагрузки на генератор и повышению общей энергетической эффективности транспортного средства.

Исследование влияния климатических факторов показало, что повышение температуры окружающей среды до 45 °C приводит к уменьшению температурного перепада между горячей и холодной сторонами термоэлектрического модуля примерно на 6,6 %. С учётом дополнительных тепловых потерь фактическое снижение эффективности термоэлектрической рекуперации может составлять 6–10 %. Это свидетельствует о необходимости совершенствования систем охлаждения термоэлектрических генераторов при эксплуатации автомобилей в условиях жаркого климата.

Наибольший потенциал рекуперации энергии наблюдается при движении автомобиля в трассовом режиме, характеризующемся повышенной температурой выхлопных газов и увеличенным расходом топлива. Полученные результаты подтверждают перспективность применения систем термоэлектрической рекуперации тепловой энергии на автомобилях Chevrolet Cobalt и могут быть использованы при разработке энергосберегающих технологий автомобильного транспорта, гибридных силовых установок и интеллектуальных систем управления энергопотреблением транспортных средств.

Список литературы:

1. Nigmatullin Sh.F., Samikov R.F., Razyapov M.M. Study of the operation of a thermoelectric generator in the exhaust system of an internal combustion engine // Transport engineering. 2022. No. 4. pp. 45–52.
2. Yudin A.V., Samikov R.F. Current state and prospects for the development of thermoelectric generators for converting the thermal energy of internal combustion engine exhaust gases // Young scientist. 2021. No. 18. pp. 112–117.
3. Rowe D.M. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Boca Raton: CRC Press, 2006.

4. Bell L.E. Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems // Science. 2008. Vol. 321. No. 5895. P. 1457–1461. DOI: 10.1126/science.1158899
5. Mori M. Development of Thermoelectric Generators for Automotive Waste Heat Recovery // Journal of Electronic Materials. 2011. Vol. 40. No. 5. P. 1105–1111. DOI: 10.1007/s11664-011-1560-z
6. Champier D. Thermoelectric Generators: A Review of Applications // Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 140. P. 167–181. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.02.070
7. He W. Recent Development and Application of Thermoelectric Generator and Cooler // Applied Energy. 2015. Vol. 143. P. 1–25. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.01.058
8. Karri M.A. Numerical Analysis of Automotive Exhaust Thermoelectric Generator // International Journal of Thermal Sciences. 2011. Vol. 50. No. 7. P. 1221–1230. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2011.02.016
9. Kim T.Y. Performance Analysis of Automotive Thermoelectric Generator under Various Driving Conditions // Energy. 2016. Vol. 114. P. 1162–1171. DOI: 10.1016/j.energy.2016.08.069
10. Akhmedov B.A. Energy Efficiency Improvement of Vehicle Power Systems under Hot Climate Conditions // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 401. DOI: 10.1051/e3sconf/202340101012
11. He W., Wang S., et al. Recent advances in thermoelectric generators for automotive waste heat recovery // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112188
12. Champier D. Automotive thermoelectric generators: Current status and future perspectives // Energy Conversion and Management. 2021. DOI: 10.1016/j.enconman.2021.114902
13. Crane D.T., Jackson G.S. Optimization of automotive thermoelectric generators for waste heat recovery // SAE Technical Paper. DOI: 10.4271/2004-01-1027
14. Zhang Y., Li J., Wang H. Experimental investigation of thermoelectric waste heat recovery system for gasoline engines Case Studies in Thermal Engineering, 2024. DOI: 10.1016/j.csite.2024.104021