

УДК 621.431:621.365

**Дмитриченко М.Ф.** *док. техн. наук*

**Гутаревич Ю.Ф.** *док. техн. наук*

**Тріфонов Д.М.** *канд. техн. наук*

**Сирота О.В.** *канд. техн. наук*

**Шуба Е.В.** *канд. техн. наук*

**Кухтик Н.О.** *доктор філософії*

Національний транспортний університет  
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ,  
01010, Україна, e-mail: d.trifonov@ntu.edu.ua

**ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИСТРОЮ  
ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ  
ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ  
ЗАПАЛЮВАННЯМ ЗА РОБОТИ НА СПИРТОВМІСНОМУ  
БЕНЗИНІ**

---

*У статті розглядається проблема, що пов'язана з підвищенням ефективності експлуатації двигуна з іскровим запалюванням. Серед альтернативних палив, для двигунів з іскровим запалюванням у всьому світі розглядається етанол як важливе відновлюване джерело енергії. Додавання етанолу до товарного бензину забезпечує зниження шкідливих забруднювачів повітря, парникових газів, а також ціни на виробництво. З іншого боку, використання бензоетанольних сумішей як палива пов'язано з більш низьким тиском насичених парів, що робить пуск холодного двигуна досить складним, а також призводить до погіршення паливно-економічних і екологічних показників двигуна в режимі прогріву. Запропоновано пристрій, що використовує термоелектричні модулі для підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням при роботі на бензоетанольних сумішах в режимах пуску і прогріву холодного двигуна. Наведено опис запропонованого термоелектричного пристрою, принцип його функціонування та результати функціональних випробувань. Бібл. 9, рис. 4.*

**Ключові слова:** двигун з іскровим запалюванням, бензоетанольна суміш, термоелектричні модулі, пуск і прогрів холодного двигуна, підігрів повітря на впуску.

## **Вступ**

Транспорт став невід'ємною частиною сучасного життя і одним з ключових секторів з точки зору споживання енергії. Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), що працює на викопному

паливі є одним з найбільш ефективних і універсальних джерел механічної енергії, що застосовується в автомобілях, будівельній та сільськогосподарській техніці, стаціонарних енергетичних установках та ін. Нестабільність світових цін на викопне паливо, скорочення його запасів, проблеми з транспортуванням змушують шукати альтернативні види палива. Застосування альтернативних видів палив повинно знижувати екологічний збиток, що наноситься навколишньому середовищу, який пов'язаний з застосуванням викопних палив. Розвиток ринку альтернативних видів палива має знизити залежність України від нафти та сприяти економічному зростанню та скороченню викидів парникових газів на транспорті. Зниження впливу автомобільного транспорту на забруднення атмосферного повітря є одним з найважливіших пріоритетів державної політики в галузі автомобільного транспорту [1].

Тому дослідження, що присвячені впливу альтернативних видів палива на екологічні та енергетичні показники роботи двигуна транспортного засобу (ТЗ), а також визначення рекомендацій щодо їх застосування з урахуванням умов експлуатації транспортного засобу є важливим науковим завданням, яке зумовлює можливість широкого використання альтернативних видів палива у майбутньому.

## **Аналіз попередніх досліджень**

Сучасні тенденції в паливній промисловості, такі як посилення екологічних вимог до палив, зростання обсягів споживання високооктанових бензинів, підвищення собівартості видобутку нафти, погіршення якості видобутої нафти і, як наслідок, подорожчання її переробки призводять до необхідності перегляду традиційних підходів до виробництва моторних палив. В першу чергу це стосується отримання високооктанових бензинів та використання палив і їх компонентів альтернативних нафтовим.

Одним із шляхів розв'язання цих завдань може стати використання спирту, як добавки до традиційних товарних бензинів, і в першу чергу спирту етилового зневодненого (паливного біоетанолу), виготовленого з біологічно відновлювальної сировини. Використання спиртовмісних бензинових сумішей, стало загальносвітовою тенденцією, яке дозволяє поліпшити енергоефективність ДВЗ, збільшити його експлуатаційний ресурс, зменшити витрати на технічне обслуговування і головне – знизити залежність від викопного палива [2 – 5].

Разом з цим виявлено ряд істотних недоліків застосування спирту як моторного палива, що обмежують його максимальну концентрацію в бензоетанольних сумішах. Так, висока прихована теплота випаровування ускладнює пуск холодного двигуна (при температурі нижче 10°C він стає практично неможливим), менша теплота згорання порівняно з теплотою згорання нафтових палив вимагає збільшення витрат на 25...30 %, нижча температура відпрацьованих газів призводить до збільшення часу виходу каталітичного нейтралізатора на ефективний режим конверсії шкідливих речовин в режимі прогріву двигуна, внаслідок чого збільшуються викиди шкідливих речовин, відносно висока електропровідність в поєднанні з високим вмістом кисню вимагає захисту деталей системи паливоподачі від корозії, фазова нестабільність

спиртовмісного палива (особливо це проявляється при застосуванні метанолу), незадовільні трибологічні характеристики [6, 7].

Для подолання деяких недоліків застосування бензоетанольної суміші як моторного палива, що дозволить поліпшити експлуатаційні характеристики ДВЗ, існують в основному два можливих підходи. Перший – введення мінімальної кількості спирту в товарний бензин (до 20 %, щоб уникнути проблем зі штатним режимом роботи ДВЗ). Другий – забезпечення підігріву повітря на впуску до оптимальних значень температури і її стабілізацію при застосуванні бензоетанольної суміші (в залежності від концентрації спирту в суміші) в умовах низьких температур навколишнього повітря, зокрема в режимах пуску і прогріву холодного двигуна.

Сучасні конструкції систем впуску двигуна ТЗ шляхом застосування різних конструктивних рішень, в першу чергу, забезпечують низьку концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах і високі економічні показники в нормальних умовах експлуатації, при яких відсутні будь-які фактори, що перешкоджають здійсненню функціональних або технологічних процесів. Як відомо, експлуатаційні характеристики двигуна ТЗ в різних режимах його роботи залежать не тільки від вдосконалення конструкції систем двигуна, але і від умов експлуатації. Найбільший вплив на експлуатаційні характеристики двигуна ТЗ чинять природно-кліматичні умови. Основною характеристикою природно-кліматичних умов, що істотно впливає на експлуатаційні властивості транспортного засобу, є температура навколишнього повітря. Температура навколишнього повітря є визначальним фактором у формуванні паливоповітряної суміші через вплив на температуру у впускному колекторі двигуна ТЗ [8, 9].

Утворення оптимального складу паливоповітряної суміші, швидкість і повнота її згорання при роботі двигуна в різних режимах, в тому числі при низьких температурах навколишнього повітря в досить великій мірі залежить від фізико-хімічних властивостей застосовуваного палива, які визначаються низкою показників, у тому числі тиском насичених парів (ТНП) що характеризує випаровуваність палива. За величиною ТНП можна судити про пускові властивості палива (рис. 1).

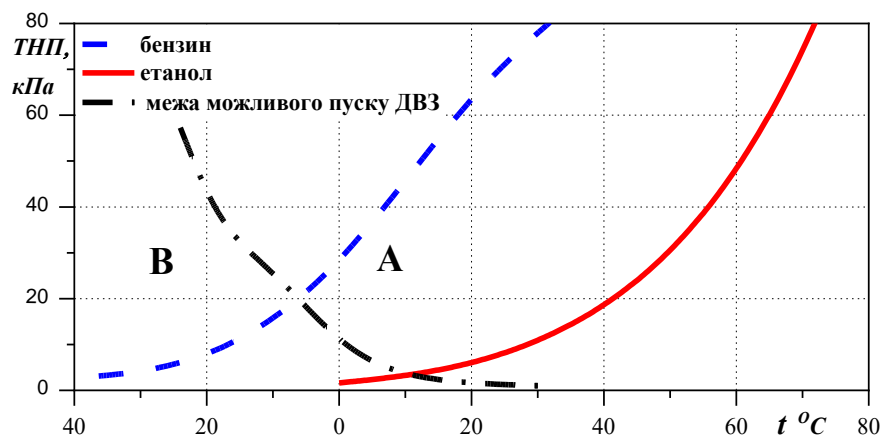


Рис. 1. Залежність значення ТНП бензину і спирту від температури навколишнього повітря та залежність можливого пуску двигуна від їх ТНП: А – область, де пуск ДВЗ можливий; В – область, де пуск неможливий

Представлені на рис. 1 графічні залежності, що отримані з досить великої кількості джерел, показують, що зі збільшенням вмісту етанолу в бензоетанольній суміші ТНП зменшується і доходить до значення, яке робить неможливим пуск двигуна, особливо в умовах низьких температур.

Для інтенсифікації випаровування палива в умовах низьких температур застосовуються різні методи, серед яких – попередній підігрів палива, підігрів впускного колектора, підігрів повітря на впуску, посилення турбулізації повітряного потоку та інші.

У зв'язку з цим застосування бензоетанольної суміші, особливо з досить великим вмістом етанолу, вимагає розробки різних методів і пристроїв з метою забезпечення приготування паливоповітряної суміші оптимального складу і її кількості незалежно від кліматичних умов і режимів роботи двигуна ТЗ.

Результати проведеного аналізу свідчать про актуальність і доцільність досліджень, спрямованих на створення та використання пристроїв, що забезпечують поліпшення експлуатаційних характеристик двигуна з іскровим запалюванням при роботі на бензоетанольних сумішах в режимах пуску і прогріву холодного двигуна.

## Результати досліджень

Враховуючи вимоги щодо мінімізації втручання в конструкцію двигуна, систем, що забезпечують його роботу та сучасні технологічні рішення авторами запропоновано систему, що забезпечує автоматичне підтримання оптимальної температури повітря у впускному колекторі двигуна ТЗ, що складається з ДВЗ, повітроочисника, впускного колектора, термоелектричного пристрою (ТЕП), електронного блоку управління, датчика температури повітря у впускному колекторі, датчика навантаження. Термоелектричний прилад складається з термоелектричних модулів, внутрішнього і зовнішнього радіатора з вентиляторами та датчика температури зовнішнього радіатора (рис. 2).

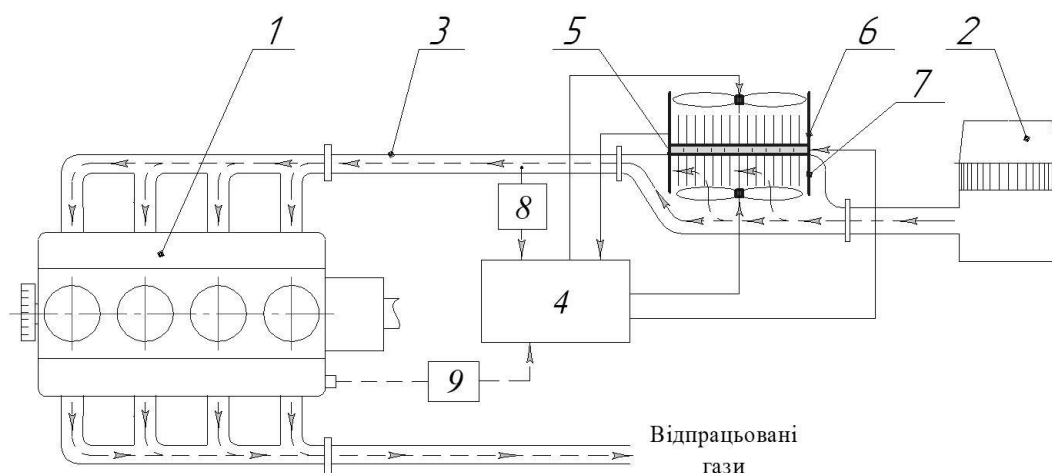


Рис. 2. Конструктивна схема запропонованої системи, що забезпечує автоматичне підтримання оптимальної температури повітря у впускному колекторі ДТЗ: 1-ДВЗ, 2-повітроочисник, 3-впускний колектор, 4-електронний блок управління, 5-термоелектричний модуль, 6- зовнішній радіатор з вентилятором та датчиком температури, 7-внутрішній радіатор з вентилятором, 8-датчик температури повітря у впускному колекторі, 9-датчик навантаження.

Основним елементом запропонованої системи є термоелектричний прилад, що складається з термоелектричних модулів, принцип дії яких заснований на ефекті Пельтьє (TEC1-12706). Найбільш значущими особливостями термоелектричних модулів є: невеликі масогабаритні розміри, відсутність рухомих частин, досить висока швидкість нагріву при низькому енергоспоживанні, практично не вимагають обслуговування. Застосування термоелектричних модулів часто дозволяє отримати просте рішення складних технічних задач управління тепловою енергією і забезпечує суттєві переваги перед альтернативними технологіями.

Функції електронного блоку управління: формує безперервний струм і напругу на термоелектричних модулях, вимірює і стабілізує температуру повітря на впуску, обмежує потужність, яку споживає за заданим значенням, контролює температуру зовнішнього радіатора термоелектричного приладу і управляє його вентилятором, згладжує пульсації і скачки напруги бортової мережі, здійснює діагностику елементів запропонованої системи.

Для інтенсифікації теплообміну (посилення турбулізації) повітряного потоку у впускному колекторі з внутрішнім радіатором термоелектричних модулів застосовано вентилятор. З метою недопущення зниження ефективності запропонованої системи, за рівнем сигналу датчика температури зовнішнього радіатора електронний блок управління забезпечує включення вентилятора зовнішнього радіатора.

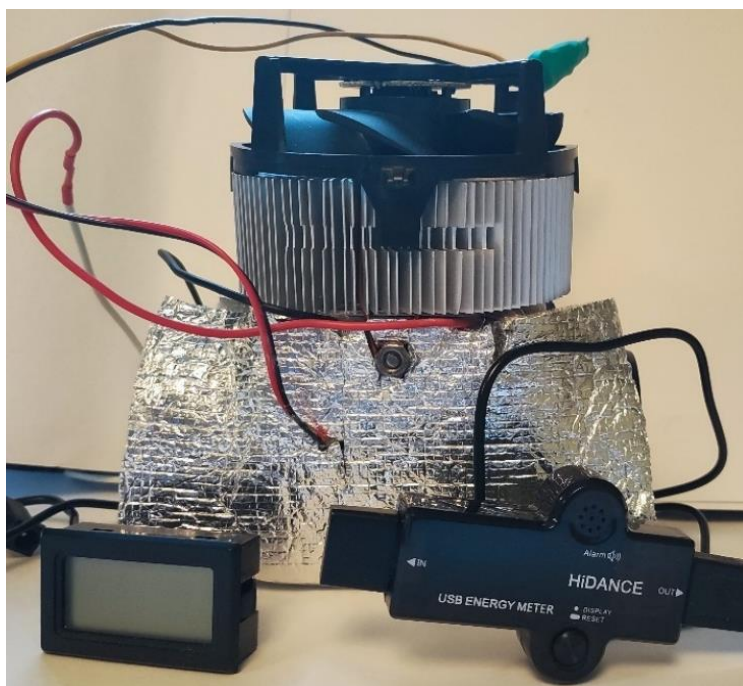
Принцип функціонування запропонованої термоелектричної системи полягає в наступному: під час роботи двигуна на електронний блок управління надходять сигнали від датчиків температури повітря у впускному колекторі, зовнішнього радіатора та навантаження. В залежності від рівня цих сигналів електронний блок управління змінюючи потужність електричного струму, що підводиться до термоелектричних модулів, забезпечує необхідну (оптимальну) температуру внутрішнього радіатора (ступінь його нагріву).

Запропонована система забезпечує наступні режими функціонування:

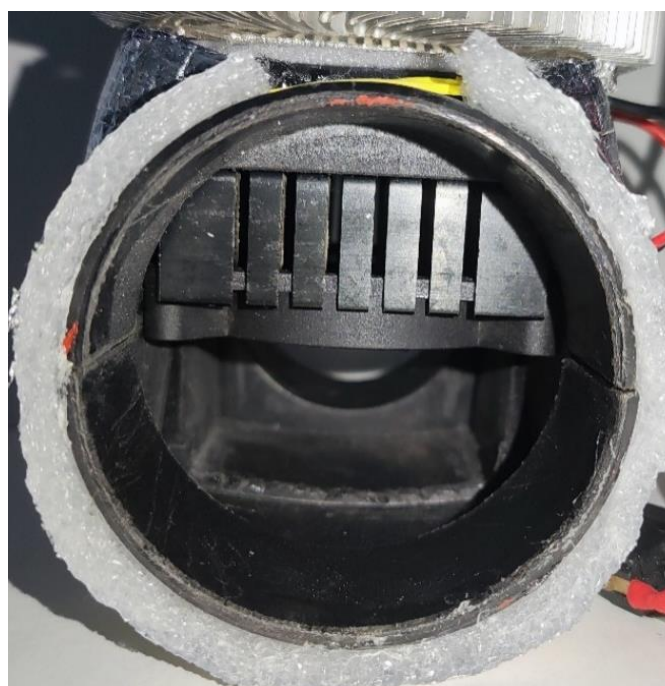
– в умовах оптимальної температури повітря у впускному колекторі (за рівнем сигналу датчика температури повітря у впускному колекторі) з повітроочисника по впускному колектору повітря потрапляє в циліндри двигуна (термоелектричний прилад відключений);

– в умовах, коли температура повітря у впускному колекторі менша оптимальної електронний блок управління підключає термоелектричні модулі до бортової мережі, що забезпечує збільшення температури внутрішнього радіатора і змінюючи потужність електричного струму забезпечує підігрів повітря у впускному колекторі до оптимальних значень.

На кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету виготовлено робочий зразок запропонованого термоелектричного пристрою (рис. 3) і проведені його функціональні випробування з метою оцінки можливої ефективності запропонованого пристрою для підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням за роботи на бензоетанольних сумішах в умовах низьких температур навколишнього повітря.



а)



б)

Рис. 3. Експериментальний зразок запропонованого термоелектричного пристрою: а) загальний вигляд ТЕП з виносним датчиком температури та тестером напруги, струму і споживаної потужності, б) внутрішній радіатор з вентилятором

Функціональні випробування робочого зразка проводили при температурі навколишнього повітря мінус 5 °С. При цьому здійснювався контроль зміни температури на виході з термоелектричного пристрою, напруги і сили струму на термоелектричному модулі. Виходячи з аналізу літератури, яка присвячена особливостям пуску холодного двигуна оптимальна температура на впуску в режимах пуску і прогріву складає близько +40...60 °С. Враховуючи більш високу теплоємність бензоетанольних сумішей в порівнянні з товарним бензином обрано за кінцеву температуру на впуску близько +60 °С.

За результатами проведених досліджень встановлено наступне. Середнє значення напруги на термоелектричному модулі склала 12.7 В, сили струму – 4.1 А. Температура повітря за 3 хв. досягла 56.8 °С, при цьому спостерігалось зниження швидкості збільшення температури повітря. (рис. 4) Це явище обумовлено зниженням потужності струму, що пояснюється відсутністю під час проведення дослідження ТЕП електронного блоку управління, зокрема керуючого контролера термоелектричного модуля. Відсутність контролера термоелектричного модуля призвело до зниження потужності струму майже на 12 % в порівнянні з початковим значенням.

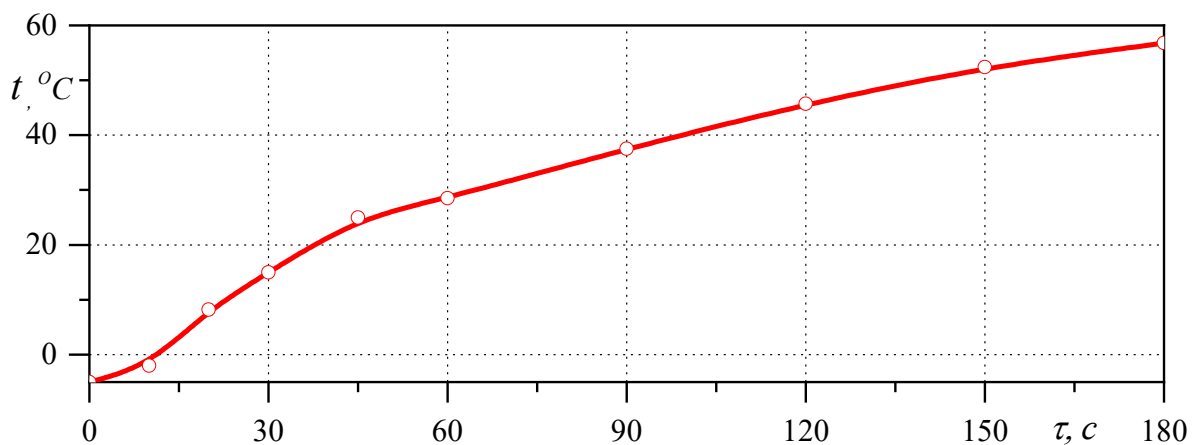


Рис. 4. Зміна температури повітря на впуску при використанні ТЕП

За результатами функціональних випробувань підтверджена можливість і доцільність використання пристроїв, що забезпечують підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням в режимах пуску і прогріву холодного двигуна за роботи на бензоетанольних сумішах, зокрема, термоелектричних модулів, принцип дії яких ґрунтується на ефекті Пельтьє. За результатами проведеного дослідження встановлено необхідність застосування керуючого контролера термоелектричного модуля, відсутність якого призводить до різкого зниження ефективності модуля (за деякими даними до 30...40 %).

## Висновки

1. Альтернативні види палива, зокрема бензоетанольні суміші мають великий потенціал у

вирішенні паливно-енергетичних та екологічних проблем, пов'язаних з викопними видами палива.

2. Досліджено можливість використання термоелектричних пристроїв для підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна ТЗ за роботи на бензоетанольних сумішах, зокрема в режимах пуску і прогріву холодного двигуна.
3. Визначено переваги та перспективні напрямки використання термоелектричних пристроїв при експлуатації двигунів ТЗ в умовах низьких температур навколишнього повітря. Встановлено, що такі пристрої можуть реалізувати підігрів повітря на впуску до оптимальних значень.
4. Функціональні випробування ТЕП свідчать про можливість і доцільність використання термоелектричних модулів, принцип дії яких заснований на ефекті Пельтьє з керуючим контролером для підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням в режимах пуску і прогріву за його роботи на бензоетанольних сумішах.

## **Література**

1. Закон України про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>.
2. Erdiwansyah, Mamat, R., Sani, M. S. M., Sudhakar, K., Kadarohman, A., and Sardjono, R. E. An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines, *Energy Reports*, Volume 5, 2019, Pages 467-479, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.04.009>
3. Awad O.I., Mamat R., Ali O.M., Sidik N.A.C., Yusaf T., Kadirgama K., Kettner M. Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, Part 3, 2018, Pages 2586-2605, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.074>.
4. Tibaquirá, J.E.; Huertas, J.I.; Ospina, S.; Quirama, L.F.; Niño, J.E. The Effect of Using Ethanol-Gasoline Blends on the Mechanical, Energy and Environmental Performance of In-Use Vehicles. *Energies* 2018, 11, 221. <https://doi.org/10.3390/en11010221>.
5. Sivakumar Kasibhatta Alcohol Fuels as an Alternative Fuels - Bringing New Heights in Sustainability, *Alcohol Fuels - Current Technologies and Future Prospect*, Yongseung Yun, IntechOpen, (November 5th 2019). DOI: 10.5772/intechopen.86626.
6. Matějovský, L., Macák, J., Pospíšil, M., Staš, M., Baroš, P., & Krausová, A. Study of corrosion effects of oxidized ethanol-gasoline blends on metallic materials. *Energy & Fuels*, Volume 32 Part 4, 2018, Pages 5145-5156, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b04034>.
7. Raja, A., Arasu, A. Exhaust gas treatment for reducing cold start emissions of a motorcycle engine fuelled with gasoline-ethanol blends. *Journal of Energy in Southern Africa*. Volume 26, Part 2, Pages 84-93, 2015, ISSN 2413-3051, <http://doi.org/10.17159/2413-3051/2015/v26i2a2199>.
8. Luis Carlos Monteiro Sales, José Ricardo Sodr e, Cold start characteristics of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel, *Applied Thermal Engineering*, Volume 40, 2012, Pages 198-201, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.01.057>.



9. Dmytrychenko M.F., Gutarevych Y.F., Trifonov D.M., Syrota O.V. (2020). The use of thermoelectric energy converters to reduce the influence of natural and climatic factors on the technical readiness of a vehicle. *J. Thermoelectricity*, 3, 56-68.

Надійшли до редакції: 23.02.2022

**Dmytrychenko M.F., D.Sc (Tech)**

**Gutarevych Yu.F., D.Sc (Tech)**

**Trifonov D.M., Cand.Sc. (Tech)**

**Syrota O.V., Cand.Sc. (Tech)**

**Shuba E.V., Cand.Sc. (Tech)**

**Kukhtyk N.O., PhD**

National Transport University  
1, M.Omelianovycha-Pavlenka Str., Kyiv,  
01010, Ukraine, *e-mail: d.trifonov@ntu.edu.ua*

**USE OF A THERMOELECTRIC DEVICE TO MAINTAIN  
OPTIMAL AIR TEMPERATURE AT THE INTAKE OF A  
SPARK-IGNITION ENGINE WHEN OPERATING ON  
ALCOHOL-CONTAINING GASOLINE**

*The article deals with the problem associated with increasing the efficiency of operation of a spark ignition engine. Among the alternative fuels for spark ignition engines, ethanol is regarded worldwide as an important renewable energy source. Adding ethanol to commercial gasoline reduces harmful air pollutants, greenhouse gases, and production costs. On the other hand, the use of benzoethanol mixtures as a fuel is associated with a lower saturated vapor pressure, which makes starting a cold engine quite difficult, and also leads to deterioration in the fuel-economic and environmental performance of the engine in the warm-up mode. A device with the use of thermoelectric modules is proposed for maintaining the optimal air temperature at the intake of a spark-ignition engine when operating on benzoethanol mixtures in the start-up and warm-up modes of a cold engine. The description of the proposed thermoelectric device, the principle of its functioning and the results of functional tests are presented. Bibl. 9, Fig 4.*

**Key words:** spark ignition engine, benzoethanol mixture, thermoelectric modules, cold engine start and warm-up, intake air heating.

## References

1. The Law of Ukraine on the basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2030. Verkhovna Rada Vidomosti, 2019, 16, p.70.
2. Erdiwansyah Mamat, R., Sani M. S. M., Sudhakar K., Kadarohman A., and Sardjono R. E. (2019). An overview of higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines. *Energy Reports*, 5, 467-479, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.04.009>
3. Awad O.I., Mamat R., Ali O.M., Sidik N.A.C., Yusaf T., Kadirgama K., Kettner M. Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. (2018). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, Part 3, 2586-2605, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.074>.
4. Tibaquirá J.E., Huertas J.I., Ospina S., Quirama L.F., Niño J.E. (2018). The effect of using ethanol-gasoline blends on the mechanical, energy and environmental performance of in-use vehicles. *Energies* 11, 221. <https://doi.org/10.3390/en11010221>.
5. Sivakumar Kasibhatta (2019). *Alcohol fuels as an alternative fuel - bringing new heights in sustainability, alcohol fuels - current technologies and future prospect*, Yongseung Yun, IntechOpen, (November 5th 2019). DOI: 10.5772/intechopen.86626.
6. Matějovský L., Macák J., Pospíšil M., Staš M., Baroš P., & Krausová A. (2018). Study of corrosion effects of oxidized ethanol-gasoline blends on metallic materials. *Energy & Fuels*, 32 Part 4, 5145-5156, <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b04034>.
7. Raja A., Arasu A. (2015). Exhaust gas treatment for reducing cold start emissions of a motorcycle engine fuelled with gasoline-ethanol blends. *Journal of Energy in Southern Africa*. 26, Part 2, 84-93. ISSN 2413-3051, <http://doi.org/10.17159/2413-3051/2015/v26i2a2199>.
8. Monteiro Sales Luis Carlos, Sodré José Ricardo (2012). Cold start characteristics of an ethanol-fuelled engine with heated intake air and fuel. *Applied Thermal Engineering*, 40, 198-201, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.01.057>.
9. Dmytrychenko M.F., Gutarevych Y.F., Trifonov D.M., Syrota O.V. (2020). The use of thermoelectric energy converters to reduce the influence of natural and climatic factors on the technical readiness of a vehicle. *J.Thermoelectricity*, 3, 56-68.

Submitted: 23.02.2022