УДК 621.431:621.362

Дмитриченко М.Ф. *доктор техн. наук*
Гутаревич Ю.Ф. *доктор техн. наук*
Тріфонов Д.М. *канд. техн. наук*
Сирота О.В. *канд. техн. наук*
Шуба Е.В. *канд. техн. наук*

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

ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ ДЛЯ ПІДТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ВПУСКНОМУ КОЛЕКТОРІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

У статті розглядається проблема, пов'язана з підвищенням ефективності експлуатації автомобільного транспорту в умовах високих температур оточуючого повітря, обґрунтовується необхідність прийняття спеціальних заходів для підтримання оптимальної температури повітря на впуску двигуна. За результатами аналізу встановлено, що значний вплив на ефективність роботи двигуна внутрішнього згорання здійснює температура оточуючого повітря. Запропоновано використання термоелектричної системи, яка дозволяє забезпечити підтримання оптимальної температури у впускному колекторі з метою підвищення експлуатаційних характеристик двигуна. Наведено опис запропонованої термоелектричної системи та принцип її функціонування. Бібл. 11, рис. 4.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, природно-кліматичні фактори, термоелектричний охолоджувач, експлуатаційні характеристики.

Вступ

Транспортна галузь є однією з базових галузей економіки України, має розвинуту мережу автомобільних шляхів, що створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та економічного розвитку національної економіки країни. Сучасний стан транспортної галузі не повною мірою відповідає сучасним вимогам ефективного впровадження енергозберігаючих технологій та забезпечення пріоритетності вимог екологічної безпеки, що обумовлено низьким рівнем впровадження сучасних технологій і реалізації інноваційної політики в транспортній галузі. У зв'язку цим, проблема підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту відноситься до числа особливо значимих, що підтверджується Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року [1].

Аналіз попередніх досліджень

Сучасні конструкції систем впуску двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) за рахунок застосування різних конструктивних рішень, у першу чергу, забезпечують низьку концентрацію

шкідливих речовин у відпрацьованих газах і високі економічні показники. У той же час показники потужності ДВЗ відійшли на другий план, що викликано посиленням міжнародних стандартів екологічної безпеки і паливної економічності до автомобільного транспорту. Як відомо, експлуатаційні характеристики ДВЗ в різних режимах його роботи, екологічні та економічні показники залежать не тільки від вдосконалення конструкції двигуна, але і від ефективності згорання паливо повітряної суміші в циліндрах двигуна, що в свою чергу визначається її якісним і кількісним складом.

Вплив температури повітря на впуску на експлуатаційні характеристики ДВЗ досить широко висвітлено в роботах [2 – 6].

У роботах [7 – 9], за результатами проведених науково-дослідних робіт з визначення оптимальної температури повітря у впускному колекторі двигуна зазначається, що температура повітря, при якій забезпечуються оптимальні параметри робочого циклу двигуна, становить 40...60 °С. У реальних умовах експлуатації автомобіля підтримка такого температурного режиму повітря на впуску практично неможливо через вплив різних змінних факторів, перш за все природно-кліматичних і дорожніх, а також навантажувального, швидкісного і теплового режимів роботи ДВЗ. Крім того, турбокомпресор і інші технології, які забезпечують форсування двигуна також сприяють зростанню температури під капотом сучасного двигуна. У зв'язку з цим, температура повітря на впуску ДВЗ в залежності від умов експлуатації та кількості додаткового обладнання може коливатися в широких межах, що істотно впливає на робочий процес (погіршуються наповнюваність циліндрів паливо повітряної сумішшю і її якість) та тепловий баланс двигуна.

Слід зазначити, що електронні системи управління двигуном сучасних автомобілів, які оснащені різними датчиками для забезпечення оптимального складу паливоповітряної суміші, не зважаючи на свої технічні досконалості, не в повній мірі враховують вплив змінних факторів, які виявляються при експлуатації автомобіля. Наприклад, в умовах жаркого клімату температура повітря у впускному колекторі при роботі двигуна в режимах холостого ходу і часткових навантажень підвищується до 80 °С і вище. [10] Аналіз змін глобальної температури щодо середніх температур 1951-1980 років, свідчить, що тривалість періодів аномально високої температури значно зросла в середньому за останні десятиліття в зв'язку з глобальними кліматичними тенденціями (рис. 1).

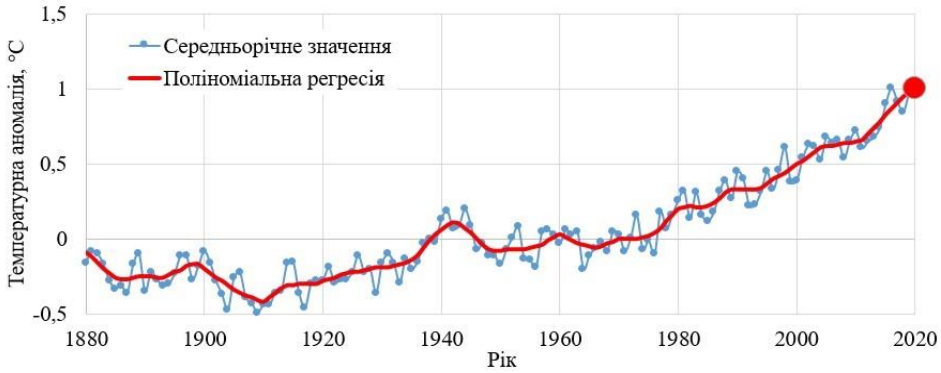

Рис. 1. Глобальний індекс температури суші і океану [11]

Охолодження повітря, зокрема, наддувочного дизелів з турбонаддувом, широко застосується для підвищення об'ємної ефективності двигуна за рахунок збільшення щільності повітря і поліпшення наповнення циліндрів. Зазвичай це робиться через теплообмінник типу «повітря/повітря». В якості охолоджувального теплоносія (холодоносія) використовується навколишнє повітря, в зв'язку з чим ступень охолодження повітря, яке надходить в двигун строго пов'язана з температурою навколишнього середовища. Рекордно високі температури навколишнього

середовища останніх років призводять до значного зниження ефективності штатного теплообмінника і, як наслідок, до значного підвищення температури на впуску, що призводить до зниження ефективності експлуатації автомобільного транспорту (зокрема його енергетичних показників).

Тому одним з перспективних шляхів спрямованих на підвищення експлуатаційних характеристик автомобільного транспорту в умовах високих температур навколишнього середовища є забезпечення оптимальної температури повітря на впуску ДВЗ.

У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці методів і пристроїв, з урахуванням сучасних технологічних рішень, для забезпечення оптимальної температури повітря що надходить у двигун, з метою забезпечення приготування оптимального складу паливо повітряної суміші і її кількості в залежності від режимів його роботи.

Для вирішення зазначеної задачі авторами статті запропонована термоелектрична система типу «повітря-повітря» (рис. 2) що забезпечує автоматичне підтримання оптимальної температури повітря у впускному колекторі двигуна при експлуатації транспортного засобу в умовах високих температур оточуючого повітря або високому навантаженні на двигун.

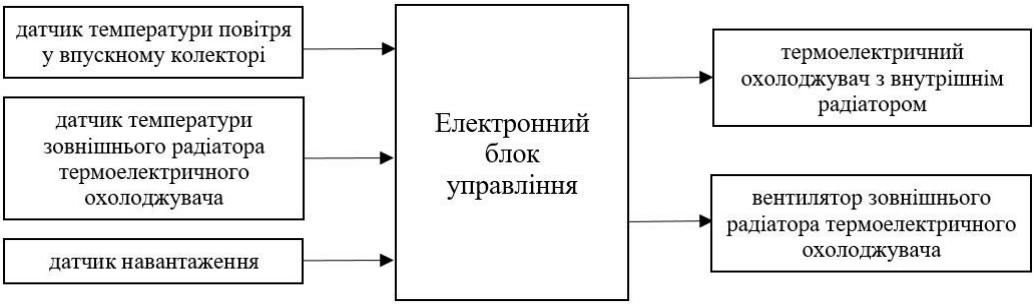

Рис. 2. Структурна схема запропонованої термоелектричної системи

Електронний блок управління забезпечує підтримання (стабілізацію) оптимальної температури повітря у впускному колекторі шляхом управління термоелектричним охолоджувачем (ТЕС - Thermoelectric Cooler) і вентилятором зовнішнього радіатора ТЕС з одночасним відстеженням і відображенням робочого стану і параметрів системи. Стабілізація температури здійснюється шляхом зміни електричної потужності, яка подається на ТЕС.

Результати досліджень

Запропонована термоелектрична система (рис. 3) складається з ДВЗ, впускного колектора, повітроочисника, електронного блока управління, термоелектричного перетворювача з внутрішнім і зовнішнім радіаторами, датчика температури зовнішнього радіатора, вентилятора зовнішнього радіатора, датчика температури повітря у впускному колекторі, датчика навантаження.

Основним елементом запропонованої термоелектричної системи є термоелектричний модуль, що складається з термоелектричного перетворювача, принцип дії якого заснований на ефекті Пельтьє. Найбільш значущими особливостями термоелектричних охолоджуючих модулів є: здатність охолоджувати об’єкт нижче температури оточуючого повітря, достатньо точне регулювання температури і невеликі масогабаритні розміри. Застосування термоелектричних модулів часто пропонує просте рішення складних технічних задач управління тепловою енергією і забезпечує суттєві переваги перед альтернативними технологіями.

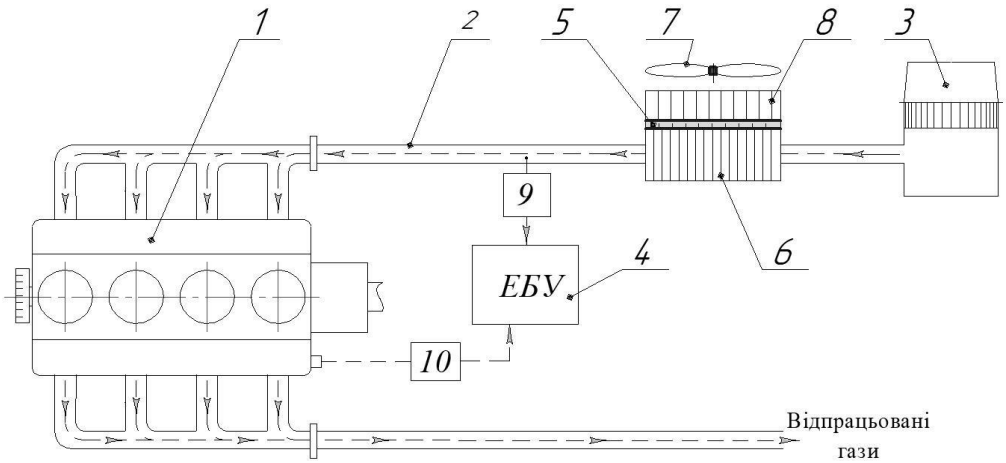

Рис. 3. Конструктивна схема запропонованої термоелектричної системи: 1-ДВЗ, 2 - впускний колектор, 3 - повітроочисник, 4 - електронний блок управління, 5 - термоелектричний перетворювач, 6 - внутрішній (охолоджуючий) радіатор, 7 - вентилятор зовнішнього радіатора, 8 - зовнішній радіатор з датчиком температури, 9 - датчик температури повітря у впускному колекторі, 10 - датчик навантаження.

Принцип функціонування запропонованої термоелектричної системи полягає в наступному: під час роботи двигуна на електронний блок управління надходять сигнали від датчиків температур повітря у впускному колекторі і зовнішнього радіатора термоелектричного охолоджувача та датчика навантаження. В залежності від рівня цих сигналів електронний блок управління плавно змінюючи потужність на термоелектричному перетворювачі забезпечує необхідну температуру внутрішнього (охолоджуючого) радіатора.

З метою недопущення зниження ефективності термоелектричної системи, деградації термоелектричного модуля і виходу його з ладу при перевищенні допустимої температури нагріву гарячої сторони термоелектричного перетворювача, електронний блок забезпечує управління вентилятором зовнішнього радіатора (вмикання та вимикання), що полегшує передачу теплоти від гарячої поверхні ТЕС в підкапотний простір автомобіля.

Запропонована термоелектрична система забезпечує наступні режими функціонування:

– в умовах оптимальної температури повітря у впускному колекторі повітря з повітроочисника через відключений термоелектричний перетворювач та впускний колектор потрапляє в циліндри двигуна;

– в умовах перевищення оптимальної температури повітря у впускному колекторі, або в режимах розгону та повного навантаження електронний блок управління підключає термоелектричний перетворювач до бортової мережі, що призводить до зниження температури внутрішнього радіатора, при цьому відбувається зниження температури повітря у впускному колекторі внаслідок теплообміну повітря з повітроочисника з внутрішнім радіатором термоелектричного перетворювача. В залежності від рівня сигналу датчика температури повітря у впускному колекторі електронний блок управління плавно змінюючи потужність на термоелектричному перетворювачі забезпечує необхідну температуру внутрішнього радіатора, що призводить до поліпшення експлуатаційних характеристик ДВЗ.

На кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету виготовлено експериментальний зразок запропонованого термоелектричного пристрою (рис. 4) і проведені його функціональні випробування з метою оцінки можливої ефективності запропонованого підходу до вирішення вищезазначеної задачі.

Рис. 4. Експериментальний зразок запропонованого пристрою встановлений на двигун VW BBY

Функціональні дослідження з забезпечення оптимальної температури повітря на впуску двигуна в умовах високих температур оточуючого повітря проведені в лабораторії випробувань двигунів Національного транспортного університету. Експериментальна установка (рис. 4) складається з двигуна VW BBY встановленого на обкатувально-гальмівному стенді, робочого зразка запропонованого термоелектричного пристрою, електронних термометрів з дистанційними датчиками, металокерамічного нагрівального елементу, що забезпечує нагрів повітря на впуску близько 60 °С.

За результатами першого етапу експериментальних досліджень підтверджена можливість застосування запропонованого авторами підходу до реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті. Використання термоелектричної системи, робота якої ґрунтується на ефекті Пельтьє, дозволяє забезпечити зниження і підтримання заданої температури повітря у впускному колекторі

В подальшому заплановано проведення розрахункових досліджень з метою визначення кількості термоелектричних модулів та необхідної площі повітряних теплорозсіюючих радіаторів термоелектричного модуля для забезпечення необхідної температури повітря у впускному колекторі та експериментальних – з метою визначення очікуваної ефективності застосування запропонованого пристрою для поліпшення експлуатаційних характеристик ДВЗ в умовах високих температур оточуючого повітря та повних навантажень.

Висновки

1. За результатами проведених досліджень запропонована термоелектрична система, що забезпечує стабілізацію оптимальної температури повітря в автоматичному режимі у впускному колекторі двигуна при експлуатації транспортного засобу в умовах високих температур оточуючого повітря або високому навантаженні на двигун.
2. Виходячи з вимог до систем термостатування, таких як автоматичне підтримання в заданому об’ємі заданої температури з певною точністю незалежно від її зміни в навколишньому середовищі, невеликі масогабаритні розміри, короткий час виходу на режим функціонування, низьке енергоспоживання авторами запропоновано застосування термоелектричних охолоджувачів, робота яких ґрунтується на ефекті Пельтьє.
3. Запропонований пристрій має компактний форм-фактор порівняно з іншими технологіями, є простим у реалізації та здатним забезпечувати необхідні конструктивно-експлуатаційні характеристики, є екологічно чистим та не вимагає технічного обслуговування.

4. За результатами функціональних випробувань робочого зразка виготовленого на кафедрі двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету підтверджена можливість застосування запропонованої термоелектричної системи для зниження температури повітря у впускному колекторі в умовах високих температур навколишнього середовища.

Література

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30 травня 2018 р.
2. Шабалин Д.В. Влияние температуры наддувочного воздуха на рабочий процесс дизельного двигателя Д.В. Шабалин, Е.С. Терещенко Вестник СибАДИ, выпуск 2 (24), 2012 с. 91-95.
3. Dmytrychenko M.F., Gutarevych Y.F., Trifonov D.M., Syrota O.V., Shuba E.V. (2018). On the prospects of using thermoelectric generators with the cold start system of an internal combustion engine with a thermal battery. J.Thermoelectricity, 4, p. 49-54.
4. 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, p. 56-68.
5. Dmytrychenko M., Gutarevych Y., Shuba Y., Syrota O., Trifonov D., Matijošius J. (2020) Improvement of Fuel Economy and Starting Properties of the Diesel Engine by Heating the Air at the Inlet. TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology, p. 494-503.
6. Birtok-Băneasă C, Raţiu S, Hepuţ T (2017) Influence of intake air temperature on internal combustion engine operation, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Materials Science and Engineering 163 012039.
7. Карнаухов В.Н. Оптимизация мощности нагревательного элемента для поддержания оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе ДВС // Электронный научный журнал: Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3.
8. Карнаухова И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя // Вестник СибАДИ. 2014. № 3 (37). С. 7 – 12.
9. Каримходжаев Н., Дадабоев Р.М., Рахмонов А.Ф. Влияние условий эксплуатации на износостойкость двигателя и его деталей // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 4(85).
10. Акунов Б.У. Влияние температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя на длительность импульса открытия форсунки при эксплуатации автомобиля в различных условиях // Б.У. Акунов, К.Дж. Касымбеков Вестник СибАДИ. 2019. № 1 (65). с. 32-39.
11. Global climate change. https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/.

Надійшли до редакції: 13.05.2021

Дмитриченко М.Ф.*доктор техн. наук*
Гутаревич Ю.Ф.*доктор техн. наук*
Трифонов Д.М.*канд. техн. наук*
Сирота О.В.*канд. техн. наук*
Шуба Э.В. *канд. техн. наук*

Национальный транспортный университет
ул. М. Емельяновича-Павленко, 1, г. Киев,
01010, Украина, *e-mail: d.trifonov@ntu.edu.ua*

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В статье рассматривается проблема, связанная с повышением эффективности эксплуатации автомобильного транспорта в условиях высоких температур окружающего воздуха, обосновывается необходимость принятия специальных мер по поддержанию оптимальной температуры воздуха на впуске двигателя. По результатам анализа установлено, что большое влияние на эффективность работы двигателя внутреннего сгорания оказывает температура окружающего воздуха. Предложено использование термоэлектрической системы, позволяющей обеспечить поддержание оптимальной температуры во впускном коллекторе с целью повышения эксплуатационных характеристик двигателя. Представлено описание предлагаемой термоэлектрической системы и принцип ее функционирования. Библ. 11, рис. 4.
Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, природно-климатические факторы, термоэлектрический охладитель, эксплуатационные характеристики.

M.F. Dmitrichenko, *D.Sc. (Tech)*
Yu.F. Gutarevich, *D.Sc. (Tech)*
D.M. Trifonov, *Cand.Sc. (Tech)*
O.V. Sirota, *Cand.Sc. (Tech)*
E.V. Shuba, *Cand.Sc.(Tech)*

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

ON THE PROSPECTS OF USING THERMOELECTRIC COOLERS TO MAINTAIN OPTIMAL AIR TEMPERATURE IN THE INTAKE MANIFOLD OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE FOR IMPROVING ITS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

The paper deals with the problem associated with increasing the efficiency of the operation of road transport in conditions of high ambient temperatures, substantiates the need to take special measures to maintain the optimum air temperature at the engine inlet. According to the results of the analysis, it is established that the ambient temperature has a significant impact on the efficiency of the internal combustion engine. The use of a thermoelectric system is proposed, which makes it possible to maintain the optimum temperature in the intake manifold in order to improve the performance of the engine. Descriptions of the proposed thermoelectric system and the concept of its operation are presented. Bibl. 11, Fig. 4.
Key words: internal combustion engine, natural and climatic factors, thermoelectric cooler, performance characteristics.

References

1. Pro shvalennia natsionalnoi transportnoi strategii Ukrainy na period do 2030 roku [Approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030]. *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 430-r issued on May 30, 2018* [in Ukrainian].
2. Shabalin D.V., Tereshchenko E.S. (2012).Vliianiie temperatury nadduvochnogo vozduha na rabochii process dizelnogo dvigatelia [Influence of charge air temperature on diesel engine operation]. *Vestnik SibADI*, 2 (24), 91-95 [in Russian].
3. Dmytrychenko M.F., Gutarevych Y.F., Trifonov D.M., Syrota O.V., Shuba E.V. (2018). On the prospects of using thermoelectric generators with the cold start system of an internal combustion engine with a thermal battery. *J.Thermoelectricity*, 4, 49-54.
4. 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.
5. Dmytrychenko M., Gutarevych Y., Shuba Y., Syrota O., Trifonov D., Matijošius J. (2020) Improvement of fuel economy and starting properties of the diesel engine by heating the air at the inlet. *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology*, p. 494-503 [in Russian].
6. Birtok-Băneasă C, Raţiu S, Hepuţ T (2017). Influence of intake air temperature on internal combustion engine operation, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. Materials Science and Engineering* 163 012039.
7. Karnaukhov V.N. (2014). Optimizatsiia moshchnosti nagrevatelnogo elementa dlia podderzhaniia optimalnoi temperatury vozdukha vo vpusknom kollektore DVS [Optimization of the power of the heating element to maintain the optimum air temperature in the intake manifold of the internal combustion engine] *Electronic scientific journal: Modern Problems of Science and Education*, 3.
8. Karnaukhova I.V. (2014). Opredeleniie optimalnoi temperatury vozdukha vo vpusknom kollektore dvigatelia [Determining the optimum air temperature in the engine intake manifold]. *Vestnik SibADI*, 3(37), 7 – 12 [in Russian].
9. Karimkhodzhayev N., Dadaboyev R.M., Rakhmonov A.F. (2021). Vliianiie uslovii ekspluatatsii na iznosostoikost dvigatelia i ego detalei [Influence of operating conditions on the wear resistance of the engine and its parts]. *Universum: Technical Sciences: electronic scientific journal*, 4(85) [in Russian].
10. Akunov B.U., Kasymbekov K.J. (2019). Vliianiie temperatury vozdukha vo vpusknom kollektore dvigatelia na dlitelnost impulsa otkrytiia forsunki pri ekspluatatsii avtomobilia v razlichnykh usloviiakh [Influence of air temperature in the engine intake manifold on the duration of the injector opening pulse during vehicle operation in various conditions]. *Vestnik SibADI*, 1(65), 32-39.
11. Global climate change. https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/.

Subminitted: 13.05.2021