

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ТРИФОНОВ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.331:662.994

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПОЛПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ
АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ПРОГРІВУ
ДВИГУНА**

Спеціальність: 05.22.20 — «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних
досліджень. Використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

Д.М. Трифонов

Науковий керівник –
Гутаревич Юрій Феодосійович,
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації засвідчую
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
Д26.059.03

С.В. Ковбасенко

Київ – 2018

АНОТАЦІЯ

Трифонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». - Національний транспортний університет, Київ, 2018.

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам до паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування умов експлуатації. Значний вплив на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля чинять природно-кліматичні фактори. При експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря має місце погіршення його паливної економічності. Основними причинами зростання витрат палива є неповнота згорання, яка пов'язана з погіршенням розпилювання і випаровування палива та збільшенням тривалості прогрівання холодного двигуна.

Останнім часом для полегшення пуску холодного двигуна автомобіля та підтримування теплового режиму силової установки в умовах низьких температур навколишнього повітря все частіше застосовують системи акумуляування теплової енергії.

За результатами аналізу конструкцій та ефективності систем акумуляування теплової енергії, запропонована система полегшення пуску і прискореного прогрівання двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням завдяки підігріву повітря на впуску тепловим акумулятором фазового переходу, в якому акумуляується утилізована частина теплової енергії відпрацьованих газів.

На показники роботи двигуна в режимі прогрівання впливає багато факторів, врахувати які практично неможливо. Тому, в розробленій методиці

з прогнозування витрат палива, запропоновано оцінювати температурний стан двигуна температурою оливи, а зміну паливної економічності в режимі прогрівання двигуна оцінювати коефіцієнтом температурного впливу.

Виходячи з того, що міські їздові цикли широко використовують для оцінювання паливної економічності та екологічних показників роботи автомобілів в умовах, наближених до їх реальної експлуатації у місті, провели аналіз сучасних їздових циклів, зокрема Європейського міського їздового циклу та можливість застосування замість детального – спрощеного їздового циклу для дослідження впливу різних методів прогріву двигуна на його показники.

Можливість спрощення їздового циклу перевіряли розрахунком витрати палива в детальному і спрощеному їздових циклах при прогрітому двигуні, розрахунки за якими проводили в інших дослідженнях, різниця складає 2,5%, що свідчить про можливість використання такого підходу для визначення порівняльних показників автомобіля з двигуном, який прогривають з системою підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.

Для визначення ефективного методу прогрівання двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням при експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря з урахуванням їх паливної економічності та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, проведені стендові випробування двигунів з різними системами живлення (MeM3-245 та VW BBY) та автомобілів в дорожніх умовах (Daewoo Lanos та ЗАЗ-1102 «Таврія»).

Дослідження впливу підігріву повітря на впуску на показники роботи двигунів MeM3-245 і VW BBY проводили в лабораторії випробувань двигунів Національного транспортного університету на обкатувально-гальмівному стенді SAK-670.

З метою визначення паливної економічності та екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні його двигуна в дорожніх умовах з

використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї провели експериментальні дослідження в м. Києві на ділянці дороги з інтенсивним рухом автомобільного транспорту.

За результатами дорожніх випробувань отримана залежність коефіцієнта температурного впливу (для оцінювання зміни паливної економічності в режимі прогрівання двигуна) від температури оливи в системі мащення двигуна автомобіля ЗАЗ-1102. Ця залежність отримана за результатами опрацювання даних щодо витрати бензину на одиницю пробігу в режимі прогрівання двигуна, як з системою підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу, так і без неї.

Можливість прийнятого підходу до визначення очікуваної витрати палива автомобілем в режимі прогрівання двигуна підтверджують розрахунки з використанням даних, отриманих в цьому і в інших дослідженнях.

Провели розрахунки паливної економічності за розробленою методикою в русі автомобіля за режимами Європейського міського їздового циклу при прогріванні двигуна з використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.

В дисертаційній роботі використали кожухотрубчатий тепловий акумулятор, міжтрубчатий простір якого заповнений теплоакumuлюючим матеріалом – октагідратом гідроксиду барію, підведення і відведення теплоти до і від якого, забезпечують теплоносії (відпрацьовані гази та повітря з навколишнього середовища) через поверхні теплообміну.

За методикою, яка запропонована в цій роботі для розрахунку теплового акумулятора фазового переходу розраховували його основні теплофізичні характеристики, геометричні розміри корпусу теплового акумулятора та на основі обраного теплоізоляційного матеріалу – товщину шару.

Для оцінювання економічної ефективності використання системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу

розрахували термін окупності витрат, які пов'язані з виготовленням теплового акумулятора фазового переходу.

У зв'язку з тим, що підвищення ефективності функціонування каталітичного нейтралізатора автомобіля, поряд з поліпшенням його паливної економічності, є важливою вимогою до сучасних енергетичних установок провели розрахунок екологічного ефекту від впровадження системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу.

За результатами дисертаційної роботи встановлено наступне.

1. Експлуатація автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря призводить до погіршення його паливної економічності та екологічних показників, в зв'язку з цим актуальним є пошук і запровадження заходів, які дозволяють з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечити пуск холодного двигуна і прискорене його прогрівання. В дисертаційній роботі вирішена наукова-технічна задача поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобільних двигунів з іскровим запалюванням в режимі прогрівання використанням теплових акумуляторів фазового переходу.

2. Розроблена методика розрахунку витрати палива автомобілем в режимі прогрівання двигуна, в якій вперше запропоновано застосування коефіцієнта температурного впливу, що дозволяє оцінити ефективність застосування системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу за різної початкової температури оливи в картері двигуна та оцінити на математичній моделі паливну економічність автомобіля в русі за Європейським міським їздовим циклом з прогріванням двигуна з системою підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.

3. Стендові випробування двигунів при їх прогріванні в режимі холостого ходу показали, що при підігріві повітря на впуску час прогрівання карбюраторного двигуна MeM3-245 зменшився на 19%, паливна

економічність поліпшилась на 20%, сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до CO, зменшились на 48%; час прогрівання двигуна з системою впорскування і зворотнім зв'язком VW BBY зменшився на 9%; паливна економічність поліпшилась на 22%. Підігрів повітря на впуску прискорює початок функціонування каталітичного нейтралізатора, підвищення температури відпрацьованих газів в зоні попереднього каталітичного нейтралізатора до 360°C на 19% швидше ніж зі штатною системою. Сумарні масові викиди, зведені до CO, до попереднього каталітичного нейтралізатора зменшились на 10%, після попереднього каталітичного нейтралізатора зменшилась на 51%.

4. При прогріванні двигуна VW BBY в режимі середньої точки Європейського міського їздового циклу час прогрівання двигуна зменшується на 6%; паливна економічність поліпшується на 19%.

5. Дорожні випробування автомобіля ЗАЗ-1102 показали, що застосування системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу при прогріванні холодного двигуна зменшує шлях прогріву двигуна на 6%, загальну витрату палива на 28%, сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до CO, на 62%.

6. Запропонований в роботі спрощений варіант теплотехнічного розрахунку теплового акумулятора фазового переходу дозволяє прогнозувати кількість акумульованої теплової енергії в залежності від маси теплоакумуючого матеріалу і його теплофізичних властивостей. Випробування виготовленого теплового акумулятора фазового переходу в інтервалі температур від 10°C до 4°C, показало, що час зберігання теплової енергії в необхідній кількості складає 8 годин 20 хвилин. За цей час температура теплового акумулятора знизилась від 100°C до 65°C.

7. За результатами розрахунків, згідно запропонованій методиці, застосування системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу дозволяє очікувати поліпшення паливної економічності автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні в режимах Європейського міського

їздового циклу на 22,5%.

8. Розрахований прогнозний термін окупності виготовлення теплового акумулятора фазового переходу складає: для двигунів з карбюраторною системою (MeM3-245) – близько 16 місяців, з системою розподіленого впорскування (VW BBY) – близько 20 місяців експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря.

9. Результати експериментальних випробувань і розрахункових досліджень прийняті до використання в 482-ому конструкторсько-технологічному центрі Збройних Сил України та ТОВ науково-виробнича компанія «ТЕХІМПЕКС».

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Встановлено, що при підігріві повітря на впуску в двигунах з іскровим запалюванням з різними системами живлення та нейтралізації шкідливих речовин, зменшуються тривалість прогрівання двигуна, витрата палива на прогрів, масові викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

2. Вперше встановлено, що підігрів повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням і системою впорскування зі зворотнім зв'язком зменшує тривалість прогрівання трикомпонентного каталітичного нейтралізатора і виходу його на ефективні показники функціонування.

3. Встановлено, що використання теплової енергії теплового акумулятора фазового переходу дозволяє забезпечити раціональне використання акумульованої частини теплової енергії відпрацьованих газів для підігріву повітря на впуску в режимі прогрівання двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Методика визначення ефективності системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу за руху автомобіля в режимах Європейського міського їздового циклу.

2. Експериментальні дані стосовно витрат палива автомобілем в

дорожніх умовах при прогріві його двигуна різними методами.

3. Обґрунтовані рекомендації щодо вибору методу прогріву двигуна автомобіля при експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря.

4. Експериментальні значення витрати палива автомобілем в режимі прогрівання двигуна залежно від його теплового стану з системою підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.

5. Рекомендації щодо визначення параметрів теплового акумулятора фазового переходу та вибору теплоакумуючого матеріалу.

6. Результати досліджень впроваджені в 482-ому конструкторсько-технологічному центрі Збройних Сил України та ТОВ науково-виробнича компанія «ТЕХІМПЕКС».

Ключові слова.

Двигун з іскровим запалюванням, низькотемпературні умови експлуатації, тепловий акумулятор фазового переходу, підігрів повітря, витрата палива, каталітичний нейтралізатор, шкідливі викиди.

Список публікацій здобувача.

Публікації в наукових фахових виданнях

1. Гутаревич Ю.Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Д.С. Адров, А.П. Комов, Д.М. Тріфонов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 10 (1053). – С. 55-62.

2. Тріфонов Д.М. Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням / Д. М. Тріфонов, О. В. Сирота, С. В. Карев, О. С. Добровольський // Вісник Національного транспортного університету. Серія

”Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. - Вип. 2 (32) С. 278 – 285.

3. Трифонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Д.М. Трифонов, В.С. Вербовський, І.В. Грицук // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2015. - Вип. 3 (45) С. 18-27.

4. Трифонов Д.М. Вплив підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники сучасного двигуна з іскровим запалюванням / Д.М. Трифонов // Вісник Національного транспортного університету Серія ”Технічні науки”. Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2016. - Вип. 2 (35) С. 227-233.

5. Gutarevich Yu.F. Car ZAZ-1102 improvement in fuel efficiency and environmental performance in warm-up phase after engine cold start / Yu.F. Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – PoltNTU, 2017. - Issue 1 (48) S. 19-25.

6. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження паливної економічності та екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при роботі в режимі прогріву в дорожніх умовах / Ю.Ф. Гутаревич, Д.М. Трифонов, О.В. Сирота // Вісник Національного транспортного університету. Серія ”Технічні науки”. Науково-технічний збірник. -К.: НТУ, 2017. - Вип. 1 (37). С. 93-100.

7. Трифонов Д.М. Визначення показників автомобіля в русі за режимами Європейського їздового циклу в процесі прогріву двигуна / Д.М. Трифонов // Вісник Національного транспортного університету. Серія ”Технічні науки”. Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2017. - Вип. 3 (39) С. 194 – 204

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

8. Трифонов Д.М. Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням, з метою оптимізації витрати палива / Д.М. Трифонов, І.В. Манько, О.В. Сирота // Systemy i środki transportu

samochodowego. Monografia nr 6. Seria: Transport. Rzeszów 2015. S.201-208

9. Трифонов Д.М. Підвищення ефективності нейтралізації відпрацьованих газів двигуна з іскровим запалюванням в режимі прогріву / Д.М. Трифонов // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 7. Seria: Transport. Rzeszów 2016. S.195-202.

Публікації апробаційного характеру

10. Трифонов Д.Н. Повышение энергоэффективности силовых установок путем использования тепловых аккумуляторов / Д.Н. Трифонов, Л.П. Мержиевская // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2015. - Т. 2. С. 74.

11. Трифонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна / Д.М. Трифонов // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2015. С.31.

12. Трифонов Д.М. Поліпшення гомогенності паливоповітряної суміші за рахунок забезпечення оптимальної температури повітря, що надходить у двигун / Д.М. Трифонов // LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2016. С.31.

13. Трифонов Д.Н. Исследование топливной экономичности и экологических показателей автомобиля ЗАЗ-1102 оснащенного тепловым аккумулятором в режиме прогрева / Д.Н. Трифонов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2017. С. 95-96.

Патенти на корисну модель

14. Патент № 94641 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти

тепловими акумуляторами» / В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М. Гушин, Ю.В. Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний університет, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05701; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22.-14 с.: іл.

15. Патент № 94642 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання» /В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М. Гушин, Ю.В. Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, Ш.К. Амерханова, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний університет, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05702; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.-12 с.: іл.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

16. Літературний твір наукового характеру «Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням, з метою оптимізації витрати палива» / Д.М. Тріфонов, І.В. Манько, О.В. Сирота // Національний транспортний університет. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63946 від 05.02.2016.

17. Літературний твір наукового характеру «Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням» / Д.М. Тріфонов, О.В. Сирота, С.В. Карев, О. С. Добровольський // Національний транспортний університет. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63949 від 05.02.2016.

ANNOTATION

Trifonov D.M. Improvement on fuel efficiency and environmental performance of the vehicle by the use of thermal batteries phase transition for warming up the engine. – Qualification scientific work on the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences on speciality 05.22.20 "Operation and repair of means of transport". – National Transport University, Kyiv, 2018.

Ensuring efficient operation of the car, which meets the modern requirements for fuel economy and environmental safety, is impossible without taking into account the operating conditions. Natural and climatic factors have a significant impact on fuel efficiency and environmental safety of the car. When the vehicle is operated under low ambient conditions, its fuel economy is deteriorating. The main reasons for the increase in fuel consumption are the incomplete combustion, which is associated with the deterioration of fuel spraying and evaporation and an increase in the duration of the cold engine's heating.

Recently, systems for the accumulation of heat energy are increasingly being used to facilitate the launch of the cold engine of the car and to maintain the thermal regime of the power plant in conditions of low ambient temperatures.

According to the results of the analysis of constructions and efficiency of systems of heat energy storage systems, the system of facilitating the start-up and accelerated heating of the engine of a passenger car with spark ignition due to the heating of the air on the introduction of a thermal phase-shift battery, which accumulates the utilized part of the thermal energy of the exhaust gases.

On the indicators of engine operation in the mode of warming is influenced by many factors, which is almost impossible to take into account. Therefore, in the developed method for forecasting fuel consumption, it is proposed to evaluate the temperature state of the engine oil temperature, and the change in fuel economy in the mode of engine warming is estimated by the coefficient of temperature influence.

Based on the fact that urban riding cycles are widely used to evaluate fuel economy and environmental performance of cars in conditions close to their actual use in the city, they analyzed the modern riding cycles, in particular the European urban ride cycle and the possibility of using instead of a detailed, simplified ride cycle to study the effects of various methods of engine warming on its performance.

The possibility of simplifying the ride cycle was checked by the calculation of fuel consumption in the detailed and simplified driving cycles with a heated engine, which were calculated in other studies, the difference is 2.5%, which suggests the possibility of using such an approach to determine the comparative indices of a car with a warming engine with a heating system of the inlet with a thermal phase-shift battery and without it.

To determine the effective method of heating engines of passenger cars with spark ignition during operation in the conditions of low ambient temperatures taking into account their fuel efficiency and emissions of harmful substances with exhaust gases, bench tests of engines with different power systems (MeMZ-245 and VW BBY) and automobiles in road conditions (Daewoo Lanos and ZAZ-1102 "Tavria").

The study of the influence of air heating on entering the performance indicators of the engines MeMZ-245 and VW BBY was carried out in the laboratory of tests of engines of the National Transport University on the braking boom SAK-670.

In order to determine the fuel efficiency and environmental performance of the ZAZ-1102 vehicle when the engine was warmed up in road conditions using an air-heating system on the inlet with a thermal phase-shift battery and without it, experimental research was carried out in the city of Kyiv in the section of the road with intensive traffic of motor vehicles.

According to the results of road tests, the dependence of the coefficient of temperature influence (for estimating the change in fuel economy in the mode of engine warming) is obtained from the oil temperature in the lubrication system of

the ZAZ-1102 engine. This dependence is obtained from the results of the processing of data on the consumption of gasoline per unit run in the mode of engine warming, as with the system of heating the air on the inlet with a thermal battery of the phase transition, and without it.

The possibility of the adopted approach to determining the expected fuel consumption of a car in the mode of engine warm-up confirms the calculations using the data obtained in this and other studies.

Conducted calculations of fuel economy based on the developed methodology in driving the car according to the regimes of the European urban driving cycle when the engine is warmed up using the system of heating the air on the inlet with a thermal battery of the phase transition and without it.

In the dissertation work the shell-tubular heat accumulator was used, the inter-tube space of which is filled with heat-accumulation material - octahydrate of barium hydroxide, supply and removal of heat to and from which, provide heat carrier (exhaust gases and air from the environment) through the heat transfer surface.

According to the methodology proposed in this paper for calculating the thermal phase-shift battery, its basic thermophysical characteristics, the geometric dimensions of the thermal battery case and the thickness of the layer selected on the basis of the selected heat-insulating material were calculated.

In order to evaluate the economic efficiency of the use of the air heating system on the inlet with a thermal phase-shift battery, the payback period of the costs associated with the production of a thermal phase-shift battery was calculated.

Due to the fact that improving the efficiency of the catalytic converter of the car, along with improving its fuel efficiency, is an important requirement for modern power plants to calculate the environmental impact of introducing a heating system on the inlet with a thermal phase-shift battery.

As a result of the dissertation work, the following is established.

1. Exploitation of the car in the conditions of low ambient temperatures

leads to deterioration of its fuel efficiency and environmental indicators, in this regard, it is relevant to search and implement measures that allow the minimum cost of fuel and energy resources to provide the start of a cold engine and accelerate its warming up. In the dissertation the scientific and technical task of improvement of fuel economy and environmental indicators of automobile engines with spark ignition in the mode of warming with the use of thermal battery of phase transition is solved.

2. The method of calculation of fuel consumption by the car in the mode of engine warming, in which the application of the coefficient of temperature influence for the first time was proposed, which allows to estimate the efficiency of application of the system of heating the air on the inlet with a thermal phase-shift accumulator at different starting temperatures of the oil in the engine crankcase and to evaluate it on a mathematical model fuel economy of the car in motion according to the European city driving cycle with engine warming with the system of heating the air at the inlet with the thermal accumulator of the phase transition and without it.

3. The bench tests of engines with their idle heating showed that when heated up the air at the time of heating the carburettor engine MeMZ-245 decreased by 19%, fuel efficiency improved by 20%, the total mass emissions of incomplete combustion products, reduced to CO, decreased by 48%; time of heating the engine with the injection system and feedback VW BBY decreased by 9%; fuel efficiency improved by 22%. The heating of the inlet air speeds up the operation of the catalytic converter, increasing the temperature of the exhaust gases in the zone of the previous catalytic converter to 360 ° C by 19% faster than the normal system. Total mass emissions reduced to CO before the previous catalytic converter decreased by 10%, after the previous catalytic converter decreased by 51%.

4. When the engine VW BBY is warmed up in the mid-point mode of the European urban driving cycle, the engine warm-up time is reduced by 6%; fuel efficiency improves by 19%.

5. Road tests of the ZAZ-1102 vehicle showed that the use of the air-heating system on the inlet with a thermal phase-overheating battery when the cold engine is warmed reduces the heating time by 6%, the total fuel consumption by 28%, the total mass emissions of incomplete combustion products, reduced to CO, on 62%.

6. The simplified version of the heat engineering calculation proposed by the heat transfer phase thermal battery allows to predict the amount of accumulated thermal energy depending on the mass of heat-accumulating material and its thermophysical properties. The test of a phase transition made by a thermal battery in the temperature range from 10°C to 4°C showed that the storage time of the thermal energy in the required amount is 8 hours and 20 minutes. During this time, the temperature of the thermal battery decreased from 100°C to 65°C.

7. According to the results of calculations, according to the proposed method, the application of the heating system on the inlet with a thermal phase-shift battery allows one to expect improvements in fuel efficiency of the ZAZ-1102 vehicle when heated in the regimes of the European urban driving cycle by 22,5%.

8. Estimated estimated payback period for the production of a thermal phase-shift battery is: for engines with a carburettor system (MeMZ-245) - about 16 months, with a distributed injection system (VW BBY) - about 20 months of operation of the car in low ambient temperatures.

9. The results of experimental tests and calculations are accepted for use in the 482nd design-technological center of the Armed Forces of Ukraine and Scientific-Production Company, LTD "TECHIMPEX".

Scientific novelty of the obtained results.

1. It is established that when air is heated up on the inlet of engines with spark ignition with different systems of power supply and neutralization of harmful substances, the duration of engine warming, fuel consumption for warming up, mass emissions of harmful substances with exhaust gases is reduced.

2. It was first established that the heating of the air on the injection of spark ignition engines and the feedback system injects the duration of the heating of the three-component catalytic converter and its output on effective performance

indicators.

3. It was established that the use of thermal energy with a thermal phase-shift battery allows to ensure the rational use of the accumulated part of the heat energy of the exhaust gases for heating the air at the inlet in the mode of heating of engines with spark ignition in the conditions of low ambient air temperatures.

The practical value of the results.

1. Experimental data on the fuel consumption of a car in road conditions when the engine is warmed up by various methods.

2. The recommendations for choosing the method of warming up the engine of a car when operating in the conditions of low ambient air temperatures are grounded.

3. Experimental values of fuel consumption by the car in the mode of engine warming depending on its thermal state with the system of heating the air on the inlet with a thermal phase-shift battery and without it.

4. Recommendations for determining the parameters of a thermal phase-shift battery and selecting a heat-accumulating material.

5. Method of determining the efficiency of the air heating system on the inlet with a thermal battery phase transition in the car in the regimes of the European urban driving cycle.

6. The results of the research were implemented at the 482nd design-technological center of the Armed Forces of Ukraine and Scientific-Production Company, LTD "TECHIMPEX".

Keywords

Engine with spark ignition, low temperature operating conditions, thermal phase battery, air heating, fuel consumption, catalytic converter, harmful emissions.

List of publisher publications

Publications in scientific journals

1. Gutarevich Yu.F. Justification of the structure of the measuring complex

for studying the operation of the internal combustion engine of a vehicle with a heating system and a thermal battery during the start-up and warm-up / Yu.F. Gutarevich, I.V. Gritsuk, D.S. Adrov, A.P. Komov, D.M. Trifonov // Bulletin of the National tech Un-th "KHPI": Sb. sciences Temat ave. Example: Automobile and tractor construction.-Kharkiv: NTU "KhPI". - 2014 - Issue 10 (1053). P. 55-62.

2. Trifonov D.M. Investigation of the effect of air heating on fuel efficiency and emissions of harmful substances in a spark ignition engine / D.M. Trifonov, A.V. Syrota, S.V. Karev, A.S. Dobrovolsky // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2015. - Issue 2 (32) C. 278-285.

3. Trifonov D.M. Use of thermal phase-shift battery to provide cold start and warm up due to improved mixing / D.M/ Trifonov, V.S. Verbovsky, I.V. Gritsuk // Collection of scientific works. Series: branch engineering, construction. - PoltNTU, 2015. - Issue 3 (45) pp. 18-27.

4. Trifonov D.M. Influence of air heating on entering the fuel economy and environmental indicators of a modern spark ignition engine / D.M. Trifonov // Bulletin of the National Transport University The series "Technical sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2016. - Issue 2 (35) C. 227-233.

5. Gutarevich Yu.F. Car ZAZ-1102 Improving fuel efficiency and environmental performance in the warm-up phase after the engine cold start / Yu.F. Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. - PoltNTU, 2017. - Issue 1 (48) S. 19-25.

6. Gutarevich Yu.F. Investigation of fuel efficiency and ecological indicators of a ZAZ-1102 car when working in a mode of warming up in road conditions / Yu.F. Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2017. - Issue 1 (37). C. 93-100.

7. Trifonov D.M. Determination of car indicators in motion according to the regimes of the European riding cycle in the process of engine warm-up / D.M.

Trifonov // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K. : NTU, 2017. - Issue 3 (39) C. 194-204.

Publications in scientific periodicals of foreign states

8. Trifonov D.M. Investigation of various methods of heating the engine with spark ignition, in order to optimize the fuel consumption / D.M. Trifonov I.V. Manko, O.V. Syrota // Systemy i in the traffic area of the samochodowego. Monograph No. 6. Seria: Transport. Rzeszow 2015. S.201-208

9. Trifonov DM Improvement of efficiency of neutralization of exhaust gases of engine with spark ignition in the mode of warming / Д.М. Trifonov // Systemy i środki transportu samochodowego. Monograph No. 7. Seria: Transport. Rzeszów 2016. S.195-202.

Publications of approbatory character

10. Trifonov D.M. Increase of energy efficiency of power plants by using thermal accumulators / D.M. Trifonov, L.P. Merzhievskaya // Science - For Education, Production, Economics: Materials of the 13th International Scientific and Technical Conference. - Minsk: BNTU, 2015. - T. 2. S. 74.

11. Trifonov D.M. Improvement of fuel efficiency and ecological indicators of the car using thermal accumulators of a phase transition for engine warming / D.M. Trifonov // LXXI scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. - K: NTU, 2015. p.31.

12. Trifonov D.M. Improvement of the homogeneity of the fuel-air mixture by providing the optimum temperature of the air entering the engine / D.M. Trifonov // LXXII scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. - K: NTU, 2016. p. 31.

13. Trifonov D.M. Research of fuel economy and ecological indices of ZAZ-1102 car equipped with a heat accumulator in the mode of warming up / D.M. Trifonov // Science - For Education, Production, Economics: Materials of the

15th International Scientific and Technical Conference. - Minsk: BNTU, 2017. C. 95-96.

Patents for utility model

14. Patent № 94641 Ukraine, MPK (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «The system of regulation of the temperature of the cooling fluid, temperature and pressure of the engine oil of the internal combustion engine with the utilization of heat with thermal accumulators» / V.Ya. Poddubnyak, Yu.F. Gutarevich, O.I. Pyatnichko, I.V. Gritsuk, VS Verbovsky, M.I. Sergienko, O.O. Zarodov, D.S. Adrov, A.M. Gushchin, Yu.V.Prylepsy, D.M. Trifonov, Z.I. Krasnokutskaya, A.V. Verbovsky, A.I. Gritsuk / (Ukraine); Applicant and patent holder: Donetsk Institute of Railway Transport, National Transport University, Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine, State number u2014 05701; statements May 27, 2014; has published Nov 25, 2014, Bul. No. 22.-14 pp.: ill.

15. Patent No. 94642 Ukraine, MPK (2014.01) F01R 3/22 (2006.01), F01M 5/00, "The system for controlling the temperature of the cooling fluid, the temperature and pressure of the engine oil of the internal combustion engine" / V.J. Poddubnyak, Yu.F. Gutarevich, O.I. Pyatnichko, I.V. Gritsuk, V.S. Verbovsky, M.I. Sergienko, O.O. Zarodov, D.S. Adrov, A.M. Gushchin, Yu.V. Prilepskiy, D.M. Trifonov, Z.I. Krasnokutskaya, Sh.K. Amerkhanova, A.V. Verbovsky, A.I. Gritsuk / (Ukraine); Applicant and patent holder: Donetsk Institute of Railway Transport, National Transport University, Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine, State number u2014 05702; statements. May 27, 2014; has published Nov 25, 2014, Bul. No. 22.-12 pp.: ill.

Certificate of registration of copyright in a work

16. Literary work of a scientific nature "Research of various methods of heating the engine with spark ignition, in order to optimize fuel consumption" / D.M. Trifonov, I.V. Manko, O.V. Syrota // National Transport University. Certificate of registration of copyright for product No. 63946, dated February 5, 2016.

17. Literary work of a scientific nature "Investigation of the influence of air heating on fuel efficiency and emission of harmful substances in a spark ignition engine" / D.M. Trifonov, O.V. Syrota, SV Karev, O. S. Dobrovolsky // National Transport University. Certificate of registration of copyright for the product No. 63949, dated February 5, 2016.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	26
ВСТУП.....	27
РОЗДІЛ 1 ДО ВИБОРУ МЕТОДУ ТА ЗАСОБІВ ПРОГРІВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	33
1.1 Вплив низьких температур навколишнього повітря на показники роботи автомобіля в режимі прогрівання холодного двигуна.....	33
1.2 Аналіз методів прогріву автомобільних двигунів в умовах експлуатації	43
1.3 Аналіз шляхів економії палива та зменшення шкідливих викидів автомобільними двигунами в режимі прогрівання.....	63
1.4 Висновки до розділу 1.....	69
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГРІВУ АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА.....	70
2.1 Розробка структурної схеми методики проведення досліджень.....	70
2.2 Аналіз досліджень з питань використання теплових акумуляторів для прогріву автомобільних двигунів з метою реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті.....	73
2.3 Обґрунтування доцільності використання обраної схеми системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу.....	84
2.4 Методика теплотехнічного розрахунку теплового акумулятора фазового переходу для системи підігріву повітря на впуску.....	90

2.5	Висновки до розділу 2.....	97
РОЗДІЛ 3	УТОЧНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА РЕЖИМАМИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО МІСЬКОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ З ВРАХУВАННЯМ ПРОГРІВУ ДВИГУНА РІЗНИМИ МЕТОДАМИ.....	98
3.1	Особливості математичної моделі для дослідження енергетичних і екологічних показників роботи автомобіля.....	98
3.2	Аналіз сучасних їздових циклів та можливість застосування спрощеного їздового циклу для дослідження впливу різних методів прогріву двигуна.....	100
3.3	Рівняння математичної моделі для розрахунку параметрів паливної економічності і екологічних показників двигуна в різних режимах.....	106
3.4	Перевірка можливості застосування спрощеного їздового циклу для розрахунків на математичній моделі для дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобіля в режимі прогрівання двигуна різними методами...	112
3.5	Висновки до розділу 3.....	113
РОЗДІЛ 4	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ПРОГРІВАННІ ЇХ ДВИГУНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ТА БЕЗ НЕЇ.....	114
4.1	Мета і задачі експериментальних досліджень.....	114
4.2	Програма та методика експериментальних досліджень.....	115
4.3	Об'єкти експериментальних досліджень.....	116
4.4	Прилади і обладнання.....	125
4.5	Результати стендових випробувань двигунів.....	132
4.6	Результати дорожніх випробувань автомобілів.....	145

4.7	Похибки приладів і вимірювань в процесі експериментальних випробувань.....	152
4.8	Висновки до розділу 4.....	154
РОЗДІЛ 5	РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ СИСТЕМИ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ.	157
5.1	Двигун автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія», як джерело енергії, викидів шкідливих речовин та споживач палива і повітря в режимі його прогрівання із використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.....	157
5.2	Результати розрахунків на математичній моделі умовного руху автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» за режимами Європейського міського їздового циклу при прогріванні його двигуна із використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.....	159
5.3	Екологічна оцінка впливу двигуна автомобіля на навколишнє середовище при прогріванні його із використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї.....	163
5.4	Результати розрахунків функціонування і термодинамічна оцінка ефективності використання теплового акумулятора фазового переходу для прискореного прогрівання холодного двигуна легкового автомобіля.....	171
5.5	Розрахунок економічного ефекту використання системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу.....	184

5.6	Розрахунок екологічного ефекту використання системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу.....	188
5.7	Висновки до розділу 5.....	191
ВИСНОВКИ.....		193
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		195
ДОДАТОК А.....		211
ДОДАТОК Б.....		216
ДОДАТОК В.....		220
ДОДАТОК Г.....		224
ДОДАТОК Д.....		225
ДОДАТОК Е.....		234

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НТУ	- Національний транспортний університет
ТА	- тепловий акумулятор
ТАМ	- теплоакумуючий матеріал
ТАФП	- тепловий акумулятор фазового переходу
ПЕР	- паливно-енергетичні ресурси
ПММ	- паливно-мастильні матеріали
ДВЗ	- двигун внутрішнього згорання
ВГ	- відпрацьовані газі
ШР	- шкідливі речовини
ШВ	- шкідливі викиди
ХХ	- холостий хід
ПХХ	- примусовий холостий хід
КН	- каталітичний нейтралізатор
ЄЕК ООН	- Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй
СО	- оксид вуглецю
СО ₂	- двооксид вуглецю
С _м Н _н	- вуглеводні
NO _x	- оксиди азоту

ВСТУП

Актуальність теми. Автомобільний транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного і економічного розвитку, який споживає значну кількість паливно-енергетичних ресурсів і чинить вагомий вплив на навколишнє середовище.

Швидке зростання кількості автотранспортних засобів на дорогах призвело до істотного ускладнення екологічного стану, особливо у великих містах. У розвинених Європейських державах на автомобільний транспорт припадає 85...90% всіх перевезень та споживання понад 60% палив нафтового походження.

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам до паливної економічності та екологічної безпеки, неможливо без урахування умов експлуатації. Значний вплив на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля чинять природно-кліматичні фактори. При експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря має місце погіршення його паливної економічності. Основними причинами зростання витрат палива є неповнота згорання, яка пов'язана з погіршенням розпилювання і випаровування палива та збільшенням тривалості прогрівання холодного двигуна.

В умовах низьких температур навколишнього повітря ефективність експлуатації автомобіля при безгаражному зберіганні значною мірою залежить від способу його підготовки, який повинен з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів, забезпечити швидкий і безаварійний пуск його холодного двигуна і прискорене прогрівання.

Останнім часом для полегшення пуску холодного двигуна автомобіля та підтримування теплового режиму силової установки в умовах низьких температур навколишнього повітря все частіше застосовують системи акумулювання теплової енергії.

За результатами аналізу конструкцій та ефективності систем акумулювання теплової енергії, запропонована система полегшення пуску і

прискореного прогрівання двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням завдяки підігріву повітря на впуску, реалізація якої не потребує внесення суттєвих конструктивних змін у системи і механізми двигуна.

Для отримання теплової енергії для підігріву повітря на впуску без додаткових витрат, запропоновано застосування теплового акумулятора фазового переходу (ТАФП), в якому акумулюється утилізована частина теплової енергії відпрацьованих газів (ВГ).

Отримані результати досліджень свідчать про значний вплив запропонованої системи для прискореного прогрівання холодного двигуна на поліпшення паливної економічності, прискорення виходу каталітичного нейтралізатора (КН) на функціонування з номінальною ефективністю та зменшення викидів шкідливих речовин (ШР) з ВГ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно плану наукових робіт Національного транспортного університету: за темою «Поліпшення показників автомобілів в умовах експлуатації застосуванням сучасних систем живлення і альтернативних палив» на 2013-2014 роки державна реєстрація № 0112U008409, за темою «Дослідження екологічних показників двигунів різного призначення при використанні альтернативних палив та удосконалення систем регулювання та живлення» на 2014-2015 роки державна реєстрація № 0112U008409, за темою «Дослідження систем живлення, регулювання, систем впуску - використанням теплових акумуляторів та систем нейтралізації відпрацьованих газів двигунів різного призначення» на 2015-2016 роки державна реєстрація № 0116U007533, за темою «Розробка і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву транспортного двигуна на основі технології теплового акумулювання в умовах експлуатації» на 2016-2017 роки державна реєстрація № 0116U006429.

Мета дослідження. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля раціональним прогріванням його двигуна за

допомогою ТАФП.

Задачі дослідження.

1. Аналіз досліджень впливу режиму прогрівання двигуна з іскровим запалюванням на паливну економічність та екологічні показники.
2. Аналіз методів і пристроїв для полегшення пуску холодного двигуна та його прогріву з метою поліпшення паливної економічності та екологічних показників двигунів з іскровим запалюванням легкових автомобілів в режимі прогрівання.
3. Обґрунтування доцільності застосування системи прогріву двигуна з іскровим запалюванням з накопиченням теплової енергії в ТАФП. Визначення параметрів теплового акумулятора (ТА).
4. Розробка методики визначення ефективності застосування системи прогріву двигуна підігрівом повітря на впуску з ТАФП.
5. Проведення стендових випробувань двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення в режимі прогрівання з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї.
6. Проведення дорожніх випробувань легкових автомобілів з двигунами з іскровим запалюванням в режимі прогрівання з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї.
7. Проведення розрахункових досліджень щодо ефективності використання на автомобілі системи підігріву повітря на впуску з ТАФП.

Об'єкт дослідження. Режим прогрівання двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Предмет дослідження. Паливна економічність, викиди ШР з ВГ автомобіля в режимі прогрівання його двигуна різними методами.

Методи дослідження.

Експериментальним методом досліджували:

- паливну економічність, вміст ШР у ВГ та показники теплового стану двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення в режимі

прогрівання різними методами;

- показники роботи двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення в режимі прогрівання з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї;

- показники роботи автомобіля в дорожніх умовах при прогріванні його двигуна з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї;

- процеси зарядки, зберігання теплової енергії та розрядки ТАФП.

Розрахунковим методом визначали:

- масові викиди ШР двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення в режимі прогрівання;

- показники роботи автомобіля в русі за режимами Європейського міського їздового циклу з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП;

- параметри ТАФП для забезпечення раціонального підігріву повітря на впуску в режимі прогрівання двигуна автомобіля.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Встановлено, що при підігріві повітря на впуску в двигунах з іскровим запалюванням з різними системами живлення та нейтралізації ШР, зменшуються тривалість прогрівання двигуна, витрата палива на прогрів, масові викиди ШР з ВГ.

2. Вперше встановлено, що підігрів повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням і системою впорскування зі зворотнім зв'язком зменшує тривалість прогрівання трикомпонентного КН і виходу його на ефективні показники функціонування.

3. Встановлено, що використання теплової енергії ТАФП дозволяє забезпечити раціональне використання акумульованої частини теплової енергії ВГ для підігріву повітря на впуску в режимі прогрівання двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Методика визначення ефективності системи підігріву повітря на впуску з ТАФП за руху автомобіля в режимах Європейського міського їздового циклу
2. Експериментальні дані стосовно витрат палива автомобілем в дорожніх умовах при прогріві його двигуна різними методами.
3. Обґрунтовані рекомендації щодо вибору методу прогріву двигуна автомобіля при експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря.
4. Експериментальні значення витрати палива автомобілем в режимі прогрівання двигуна залежно від його теплового стану з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї.
5. Рекомендації щодо визначення параметрів ТАФП та вибору теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ).
6. Результати досліджень впроваджені в 482-ому конструкторсько-технологічному центрі Збройних Сил України та ТОВ науково-виробнича компанія «ТЕХІМПЕКС». (Додаток Г).

Особистий внесок здобувача.

Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Роботи [28,33,88,96,97,103] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: аналіз сучасних методів дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу в режимах пуску і прогрівання [113], постановка задачі та обробка результатів експериментальних досліджень двигуна з карбюраторною системою [37, Додаток Б], розрахунок запропонованого пристрою для підвищення паливно-економічних й екологічних показників автомобіля в режимі прогрівання та його випробування [47,32], постановка задачі та обробка результатів випробування двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 в режимі холостого ходу [99] та дорожніх умовах [102], постановка задачі та обробка результатів дорожніх випробувань автомобіля Daewoo Lanos [100,

Додаток Б], аналіз сучасних методів і засобів прогріву автомобільних двигунів в умовах експлуатації, в тому числі з використанням ТАФП [53,54].

Апробація результатів дисертації.

Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені у вигляді тез та доповідей на 4-х міжнародних та 2-х всеукраїнських науково-технічних конференціях: LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2015 р., м. Київ, міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2015 р., м. Київ, 13-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука – освіті, виробництву, економіці», БНТУ, 2015, м. Мінськ, LXXII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2016 р., м. Київ, міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2016 р., м. Київ, 15-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука – освіті, виробництву, економіці», БНТУ, 2017, м. Мінськ.

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано (Додаток А), у 17 наукових працях, з яких 7 статей опубліковано у фахових виданнях України, 2 статті в іноземних періодичних виданнях та 4-х тезах науково-технічних конференцій. Шість наукових праць видано одноосібно. Отримано два патента України на корисну модель і два свідоцтва про реєстрацію авторських прав на твір (у співавторстві) (Додаток Б, В).

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 236 сторінки, включаючи 159 сторінок основного тексту, 21 таблицю, 85 рисунків, список використаних джерел зі 135 найменувань та 6 додатків.

РОЗДІЛ 1

ДО ВИБОРУ МЕТОДУ ТА ЗАСОБІВ ПРОГРІВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1.1 Вплив низьких температур навколишнього повітря на показники роботи автомобіля в режимі прогрівання холодного двигуна

Зниження ефективності експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря дослідники пов'язують, як правило, з погіршенням теплового режиму роботи двигуна [1 – 4].

Тепловий режим роботи двигуна істотно впливає на його показники, такі як: паливна економічність, екологічні показники, потужність, інтенсивність зношування деталей та інші. Тому при будь-яких умовах експлуатації автомобіля необхідно забезпечити оптимальний тепловий режим роботи двигуна (температура охолодної рідини +80...90°C).

Основними факторами зниження теплового режиму двигуна автомобіля є: низька температура навколишнього повітря та паливоповітряної суміші, яка надходить у циліндри двигуна, швидкість і напрям вітру та інші.

Так, підвищення швидкості вітру до 10...12 м/с призводить до збільшення темпу охолодження агрегатів в 1,5...3 рази порівняно з затишшям, що чинить істотний вплив на інтенсивність охолодження насамперед двигуна автомобіля [3].

Зношуваність деталей в режимах пуску холодного двигуна і прогрівання може збільшуватися в кілька разів при: виборі неоптимального методу прогрівання автомобіля, тривалій роботі двигуна в режимах низьких частот обертання холостого ходу, ранньому форсуванні навантаження двигуна та інші.

Труднощі пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря зумовлені передусім складністю

досягти необхідної частоти обертання колінчастого вала, через погіршення умов формування якісної паливоповітряної суміші і її займання.

Для надійного пуску двигуна частота обертання його колінчастого вала має бути не менше мінімальної пускової частоти, яка здатна забезпечити необхідний процес підготовки паливоповітряної суміші до займання (тиск і температуру паливоповітряної суміші в камері згорання в кінці такту впуску).

Мінімальна пускова частота обертання залежить: від температури навколишнього повітря (рис. 1.1, рис. 1.2), наявності системи передпусковий теплової підготовки холодного двигуна до пуску або системи, що полегшує його пуск, балансу позитивних і негативних потоків енергії при пуску двигуна, конструкції двигуна, його технічного стану та інші.

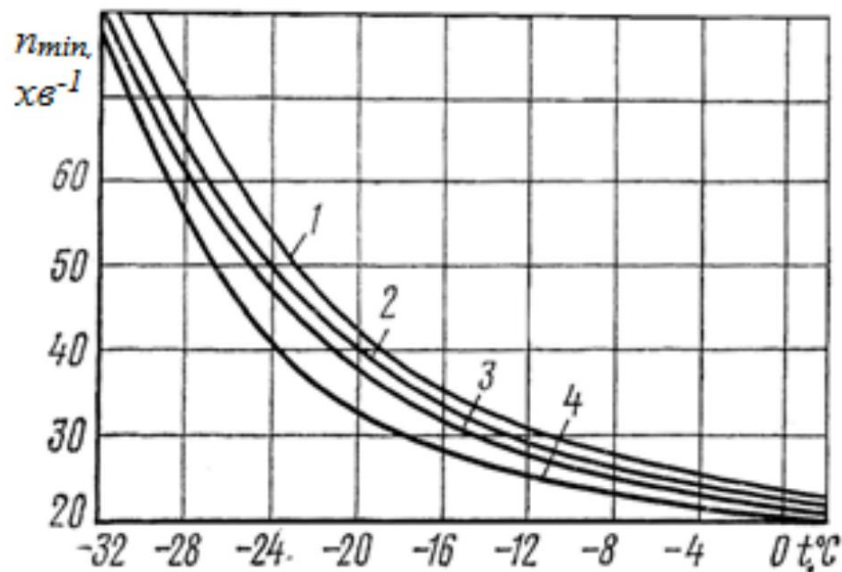


Рисунок 1.1 – Залежність мінімальної пускової частоти обертання двигунів з іскровим запалюванням від температури повітря [4]:

1 – ЗІЛ-130; 2 – ЗІЛ-375; 3 – ЗМЗ-53; 4 – Урал-376

При пуску холодного двигуна значну роль відіграє технічний стан акумуляторної батареї (здатність акумуляторної батареї забезпечити пуск двигуна за дві спроби тривалістю до 10 секунд кожна з інтервалом між спробами не більше 1 хвилини). Погіршення показників технічного стану

аккумуляторної батареї разом зі зміною умов сумішоутворення і згорання паливоповітряної суміші є однією з основних причин утрудненого пуску двигуна внутрішнього згорання в умовах низьких температур навколишнього повітря [4].

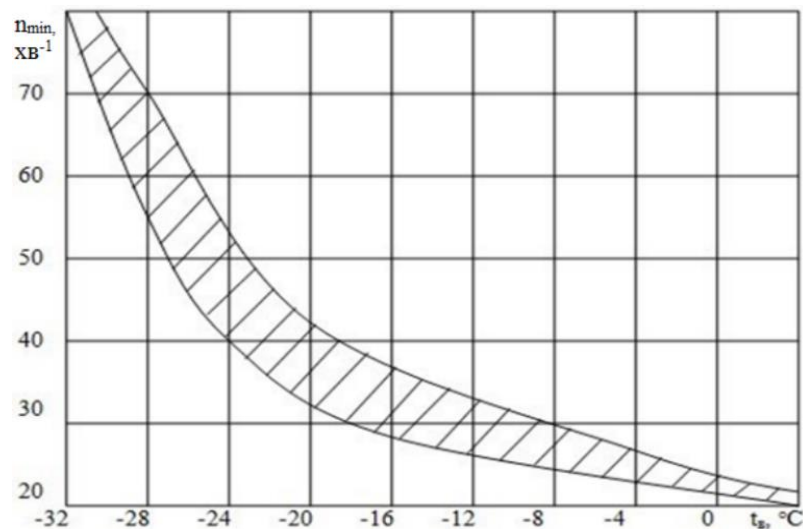


Рисунок 1.2 – Поле мінімальної пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна з іскровим запалюванням залежно від температури навколишнього повітря [4]

Досягнення пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна великою мірою ускладнено через зниження енергетичних можливостей аккумуляторної батареї (рис. 1.3), яке відбувається, в першу чергу, через зміну її внутрішнього опору (при зниженні температури).

При зниженні температури, сила розрядного струму і внутрішній опір аккумуляторної батареї досить сильно зростають. Опір пластин і перемичок практично не залежить від температури, а опір електроліту і внутрішній опір сепараторів з пониженням температури зростає через звуження каналів, заповнених електролітом.

Одночасно із зменшенням напруги при низьких температурах знижується і ємність аккумуляторної батареї. В середньому, при зниженні температури електроліту на 1°C ємність аккумуляторної батареї зменшується на 1,0...1,5%. При температурах електроліту нижче мінус 30°C батарея

практично не приймає заряд і функціонує фактично розрядженою до 50...60% номінальної ємності.

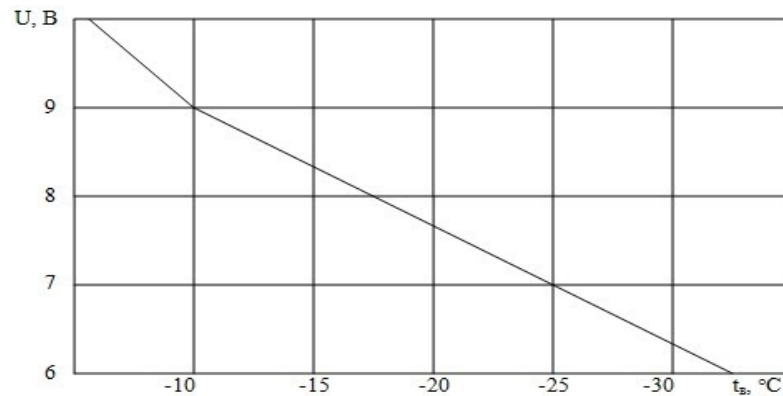


Рисунок 1.3 – Залежність напруги повністю зарядженої акумуляторної батареї від температури навколишнього повітря в стартерному режимі [4]

В роботі [4] зазначено, що величина мінімальної необхідної для пуску частоти обертання колінчастого валу в значній мірі залежить від зміни та розподілу потоків енергії при пуску. Ці зміни відбуваються при зниженні температури навколишнього повітря. До складових енергетичного балансу двигуна при холодному пуску автори відносять енергію акумуляторної батареї і хімічну енергію палива (рис. 1.4).

Енергія акумуляторної батареї витрачається на привід стартера. У свою чергу, енергетичні можливості стартера реалізуються в двигуні за трьома головними напрямками: на стиснення паливоповітряної суміші, на подолання сил тертя та сил інерції. Момент опору обертанню стартера, спрямований на стиснення паливоповітряної суміші і на подолання сил інерції, практично не змінюється при зміні температури. Момент подолання сил тертя в діапазоні температур від 0 до мінус 20°C змінюється майже в 3,5 рази. Це відбувається через збільшення, в умовах низьких температур навколишнього повітря, в'язкості оливи системи мащення двигуна.

Другою складовою енергетичного балансу двигуна при холодному пуску є хімічна енергія палива (рис. 1.4). Теплота згорання палива, у свою чергу, впливає на інші складові енергетичного балансу – втрати на подолання

сил тертя та інерції, розігрівання охолодної рідини та оливи в системі мащення двигуна. Також, частина теплової енергії, отриманої в результаті згорання палива, втрачається з відпрацьованими газами, та розсіюється в навколишнє середовище внаслідок тепловипромінювання. Ці втрати тим більші, чим більший перепад температур між двигуном і навколишнім середовищем.

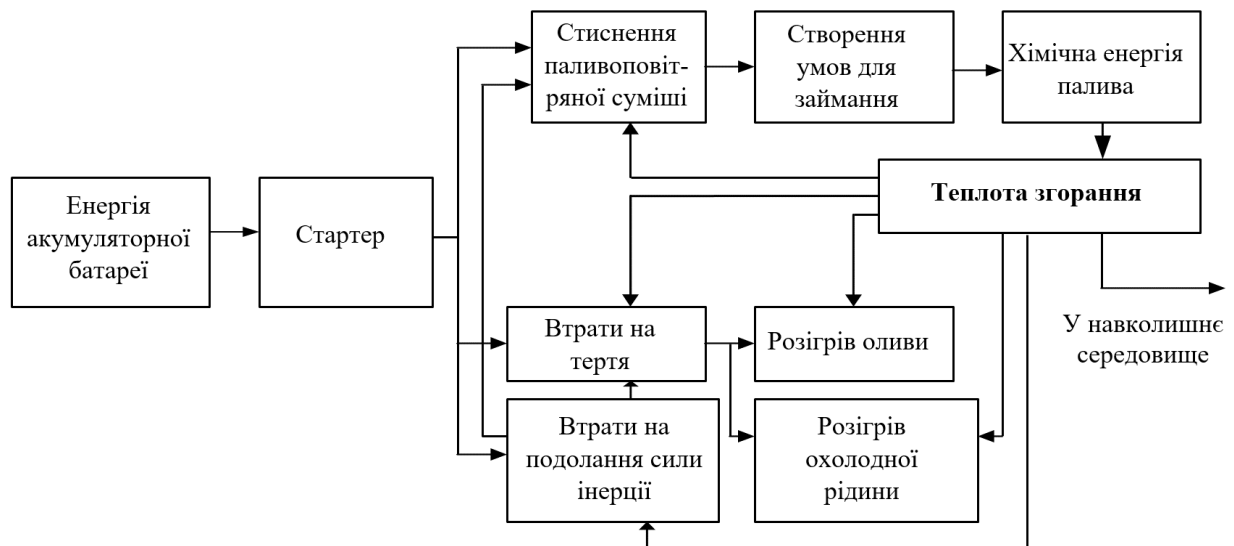


Рисунок 1.4 – Схема балансу потоків енергії під час пуску холодного двигуна [4]

На рис. 1.5 показані дані, що описують енергетичний баланс двигуна в режимі прогрівання. Експериментальні результати були отримані при постійних швидкості і навантаженні бензинового двигуна [5, 6].

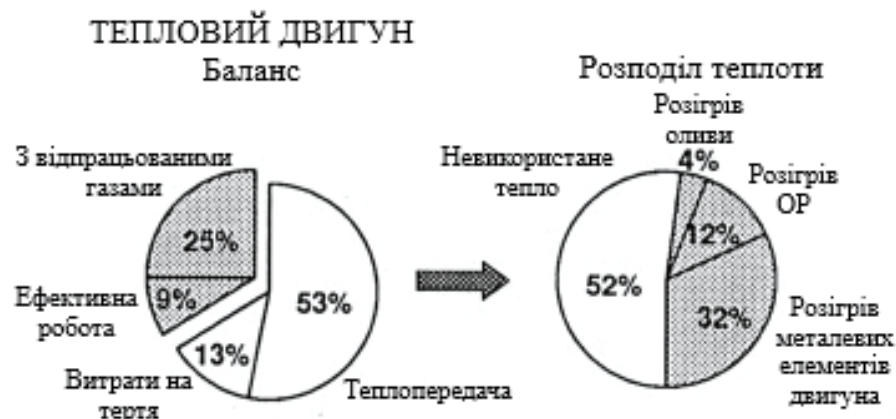


Рисунок 1.5 – Схема енергетичного балансу двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням в режимі прогрівання [5, 6]

На лівій діаграмі показано розподіл енергії теплового балансу в камері згорання, а на правій діаграмі показано розподіл 53% теплової енергії, яка витрачається на розігрівання двигуна. З цієї кількості енергії лише 4% йде на розігрівання оливи в картері двигуна, 12% – забезпечує досить швидке збільшення температури охолодної рідини в блоці циліндрів, 32% теплової енергії переходить до металевих елементів двигуна (блок циліндрів, головка блоку, колінчастий вал) та 52% – втрачається безпосередньо в навколишнє середовище «невикористана теплота».

Аналіз схем, які представлені на рисунках 1.4 і 1.5 дає можливість визначити найбільш оптимальні шляхи вирішення задачі з підвищення енергоефективності силової установки, з огляду зменшення впливу холодного пуску і прогрівання на паливну економічність та екологічні показники двигуна.

Насамперед, це використання різних утеплювачів двигуна і акумуляторної батареї для зниження теплових втрат у навколишнє середовище, що може дозволити зменшити час прогрівання двигуна. Окрім того, застосування пристроїв таких які забезпечують: підігрів повітря на впуску, використання пускової рідини, розігрівання охолодної рідини і оливи в системі мащення двигуна перед його холодним пуском для збільшення кількості отриманої теплової енергії завдяки підвищенню ефективності згорання паливоповітряної суміші.

Теплота, яка отримана в результаті суми енергій акумуляторної батареї, реалізованої для стискання паливоповітряної суміші, і хімічної енергії палива, в свою чергу, впливає на інші складові енергетичного балансу двигуна в режимі пуску.

Сумарна енергія, отримана від зазначених джерел, насамперед спрямована на підвищення температури охолодної рідини, деякого підвищення температури оливи в системі мащення двигуна, а також на зниження втрат на тертя. Однак, як температура охолодної рідини так і температура оливи можуть бути підвищені не тільки описаним способом (що

при низьких температурах навколишнього повітря вкрай недостатньо), але і шляхом застосування зовнішніх джерел теплової енергії - підігрівачів охолодної рідини, оливи в системі мащення двигуна, акумуляторної батареї.

В період пуску на контактних поверхнях деталей двигуна є холодна, досить міцна плівка оливи, яка залишилася від попередньої роботи двигуна.

При пуску холодного двигуна в зв'язку з конденсацією частини палива, яке надходить, на холодних стінках циліндрів, а також під впливом механічних навантажень і хімічно агресивного середовища починає руйнуватися плівка оливи, а нові порції оливи надходять в недостатній кількості, що збільшує інтенсивність зношування. В подальшому, по мірі нагрівання охолодної рідини і оливи в картері двигуна, темп зношування знижується. Так, при температурі охолодної рідини $+40^{\circ}\text{C}$ темп зношування гільз блоку циліндрів зростає в 4 рази, а при температурі $+50^{\circ}\text{C}$ - у 2 рази порівняно з експлуатаційними температурними умовами [4].

Крім цього, через зазори між циліндром і поршнем відбувається надходження частини паливоповітряної суміші і продуктів згорання в картер двигуна. Утворений при цьому конденсат потрапляє в оливу, що призводить до погіршення її фізико-хімічних властивостей, що викликає значне збільшення зносу поверхонь деталей двигуна, які труться зокрема циліндропоршневої групи і колінчастого вала.

Низька температура навколишнього повітря і пов'язане з цим охолодження систем і елементів двигуна, експлуатаційних матеріалів ускладнюють не тільки пуск, але і погіршують паливну економічність двигуна.

При експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря вище вказані фактори зниження теплового режиму двигуна автомобіля, як правило, взаємодіють і істотно збільшують витрату палива.

Збільшення витрати палива пояснюється: неповнотою згорання паливоповітряної суміші, яка пов'язана з погіршенням розпилення палива і

його випаровування; додатковими витратами палива на розігрівання двигуна; підвищенням опору в агрегатах трансмісії в результаті значного збільшення в'язкості оливи; збільшенням опору коченню коліс при русі по засніженій дорозі і аеродинамічним опором, внаслідок підвищення щільності повітря (рис. 1.6).

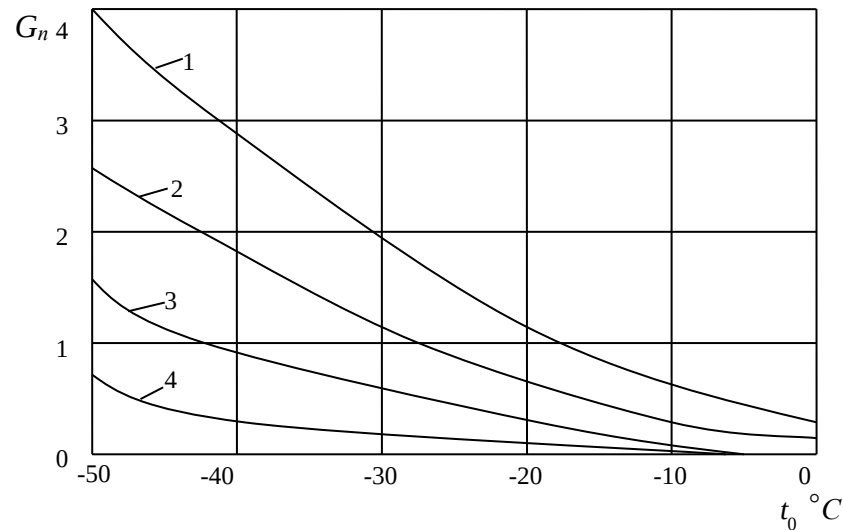


Рисунок 1.6 – Додаткова витрата палива на прогрів агрегатів трансмісії і шин автомобілів типу "Урал" після стоянки тривалістю
 автомобілів типу "Урал" після стоянки тривалістю
 (дані Тюменського державного нафтогазового університету):
 1 - 2 год.; 2 - 1,5 год.; 3 - 1 год.; 4 - 0,5 год.

Особливо значні витрати палива пов'язані з розігріванням двигуна при безгаражному зберіганні автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Робота холодного двигуна в режимах пуску та прогрівання можлива тільки при збагаченні паливоповітряної суміші. Це пояснюється погіршенням робочого процесу, яке викликане тим, що погіршується якість паливоповітряної суміші внаслідок малої швидкості повітря у впускному колекторі, низьких температур деталей двигуна, палива та повітря.

При температурі повітря 0°C в режимах пускових частот обертання колінчастого вала в циліндри двигуна надходить в пароподібному стані лише 10...15% палива, а інша частина палива накопичується у впускному

колекторі у вигляді рідкої фази (плівки на стінках впускного колектора). Температура повітря в підкапотному просторі двигуна, залежно від кліматичних умов, змінюється у відносно широких межах. Найбільш сприятливими умовами для приготування паливоповітряної суміші є температури повітря на впуску в двигун $40...60^{\circ}\text{C}$ і палива в карбюраторі $15...25^{\circ}\text{C}$. Зниження температури повітря на кожні 10°C нижче згаданої, погіршує паливну економічність на 2%. В умовах низьких температур навколишнього повітря при безгаражному зберіганні автомобіля у міжзмінний період сумарні втрати палива в режимах пуску і прогрівання двигуна сягають 3...8% загальної його витрати. [7, 8].

При стабілізації теплового режиму двигуна стабілізується і витрата палива.

Заміри експлуатаційної витрати палива в міському їздовому циклі за даними [9] показали зростання витрати на 18% при зміні температури навколишнього повітря від 31°C до мінус 2°C . Аналогічна тенденція була відображена у роботах [10 – 12] при випробуваннях трьох різних двигунів з іскровим запалюванням.

В роботі [13] наведено дані, які показують, що споживання палива бензиновим двигуном знижується, в середньому, на 10% протягом NEDC (New European Driving Cycle) при збільшенні температури охолодної рідини з початкової 25°C до експлуатаційної 90°C .

Ще одним важливим показником впливу теплового режиму двигуна є вміст ШР у ВГ.

Для кожного типу двигунів, при інших рівних умовах, викиди ШР, що надходять в навколишнє середовище, пропорційні витраті палива. Тому зменшення витрати палива в режимах пуску холодного двигуна та прогрівання означає зменшення викиду ШР з ВГ.

Викиди основних ШР – вуглеводнів, оксиду вуглецю та оксидів азоту з ВГ значною мірою залежить від якості процесу згорання паливоповітряної суміші. Протікання і ефективність процесу згорання обумовлені головним

чином: режимом роботи двигуна, складом і однорідністю паливоповітряної суміші, рівномірністю розподілу палива по циліндрах двигуна, кутом випередження запалювання, гасінням полум'я в пристінковому шарі, конструкцією камери згорання, ступенем стискання, технічним станом двигуна та автомобіля в цілому і інше.

Зниження теплового режиму двигуна, як зазначено раніше, призводить до погіршення процесу сумішоутворення і, як наслідок, збільшення вмісту продуктів неповного згорання у ВГ. Викиди вуглеводнів під час першої фази міського їздового циклу можуть становити до 60...80% від сумарної кількості за все випробування і пропорційне зростають при зниженні температури навколишнього повітря. Причому, основна частка припадає на перші 20...40 секунд після пуску холодного двигуна. Пояснюється це, по-перше, необхідністю збагачення паливоповітряної суміші, а по-друге, недостатньою, для початку ефективних окиснювально-відновних реакцій, температурою КН [14 – 15].

Важливим компонентом зниження емісії ШР у ВГ на сучасних автомобілях є КН, який необхідний для того, щоб знизити викиди оксидів азоту, вуглеводнів і оксиду вуглецю в навколишнє середовище в результаті хімічних окиснювальне-відновних реакцій. КН встановлюють у випускну систему двигуна. Температура, при якій КН починає функціонувати (температура початку ефективних реакцій) 250...350°C. В умовах низьких температур навколишнього повітря необхідний час для розігрівання КН може тривати декілька хвилин.

В значній мірі збільшення вмісту продуктів неповного згорання у ВГ та недостатня температура для початку ефективних реакцій в КН мають місце в умовах міського руху, де відстань поїздки часто невелика.

За оцінками авторів [16 – 19], до 80% поїздок, здійснених у Європі і Сполучених Штатах Америки, були довжиною менше 15 км, а аналіз експлуатації 35 одиниць автотранспортних засобів показав, що 52% рейсів були менше 3 км.

Згідно з дослідженнями [16], в реальних умовах експлуатації відстань і час, які були витрачені на поїздки у міських умовах незначні, до того ж мають місце часті зупинки, внаслідок чого близько третини з них не дозволяють охолодній рідині і оливі двигуна досягти експлуатаційних значень і складають в середньому 60...70°C.

Низька температура навколишнього повітря значно впливає на зниження теплового режиму роботи двигуна особливо в міських умовах експлуатації, що призводить до додаткової витрати палива та збільшення емісії ШР з ВГ впродовж досягнення його теплового стану.

У зв'язку з цим, важливим завданням при організації експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря є поліпшення його паливної економічності та екологічних показників, перш за все, в режимах пуску холодного двигуна і прогрівання, особливо, при пересуваннях на досить короткі відстані (зокрема, в міських умовах).

1.2 Аналіз методів прогріву автомобільних двигунів в умовах експлуатації

Автомобільний транспорт є найбільш масовим видом транспорту. У розвинених Європейських країнах частка автомобільного транспорту становить понад 85% вантажних і 93% пасажирських сухопутних перевезень та споживання понад 60% палив нафтового походження. Збільшення кількості автомобілів на дорогах країни веде до зростання забруднення навколишнього середовища ШР, які містяться у ВГ [20, 21].

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам до паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування умов експлуатації. До умов експлуатації відносять дорожні, транспортні і природно-кліматичні фактори. За даними низькі досліджень [22 – 24] найбільший вплив на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля чинять природно-кліматичні фактори. Ці

фактори в різні періоди року різняться температурою, вологістю повітря, атмосферним тиском, кількістю опадів, силою і напрямом вітру, тривалістю снігового покриву та інші. Низькі температури навколишнього повітря чинять істотний вплив на температурний режим насамперед силової установки і через його зміну на витрату палива. Основними причинами погіршення паливної економічності є неповнота згорання, яка пов'язана з погіршенням розпилювання і випаровування палива та збільшенням часу на відновлення теплового режиму двигуна. Аналіз впливу природно-кліматичних факторів на витрату палива та емісію шкідливих речовин в відпрацьованих газах автомобіля наведено в роботах [25, 26].

Полегшення пуску холодного двигуна, прискорення прогрівання та підтримування теплового режиму силової установки в умовах низьких температур навколишнього повітря можна забезпечити:

- зберіганням теплоти від попередньої роботи двигуна;
- використанням систем теплоізоляції і розігрівання акумуляторної батареї;
- використанням відповідних сортів палив і олив;
- застосуванням різних систем для передпускового розігрівання двигуна;
- застосуванням різних систем для полегшення пуску двигуна без передпускового розігрівання;
- застосуванням спеціальних методів та пристроїв для прискореного прогрівання двигуна.

В умовах низьких температур навколишнього повітря ефективність експлуатації автомобіля при безгаражному утриманні значною мірою залежить від способу його підготовки, який повинен з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечити швидкий і безаварійний пуск його холодного двигуна і прискорене прогрівання. Пуск холодного двигуна автомобіля в цих умовах без застосування додаткових засобів для полегшення досить складний через погіршення пускових якостей

двигуна. Крім того, здійснення пуску холодного двигуна та подальше його прогрівання в цих умовах супроводжується втратами часу на підготовку двигуна до прийняття навантаження, невиробничими витратами палива, значним збільшенням емісії ШР з ВГ, а також зменшенням енергії акумуляторної батареї. При температурах близьких до мінус 20°C їх ємність знижується приблизно на 60%, що також ускладнює пуск холодного двигуна.

Перераховані проблеми давно і добре відомі, проте їх досі вирішують втратою часу, збільшенням невиробничих витрат палива і зниженням моторесурсу двигуна.

Існує досить багато технічних рішень, які призначені для полегшення пуску холодного двигуна.

Класифікація пристроїв, які дозволяють полегшити пуск холодного двигуна і прискорити його прогрівання наведена на рис. 1.7 (варіант).

Вибір оптимального пристрою в кожному конкретному випадку визначає низька факторів, серед яких можна виділити:

- конструктивні особливості автомобіля і силової установки;
- умови експлуатації автомобіля;
- рівень паливної економічності та екологічні показники двигуна в режимах холодного пуску і прогрівання;
- необхідність внесення суттєвих конструктивних змін в системи силової установки;
- експлуатаційна надійність конструкції;
- час на підготовку двигуна до прийняття навантаження;
- енергоефективність обраної конструкції та економічна доцільність її встановлення і використання.

Індивідуальні пристрої, які призначені для полегшення пуску холодного двигуна, можуть бути такі які діють:

- в передпусковий період;
- безпосередньо в режимах пуску холодного двигуна та його прогрівання.

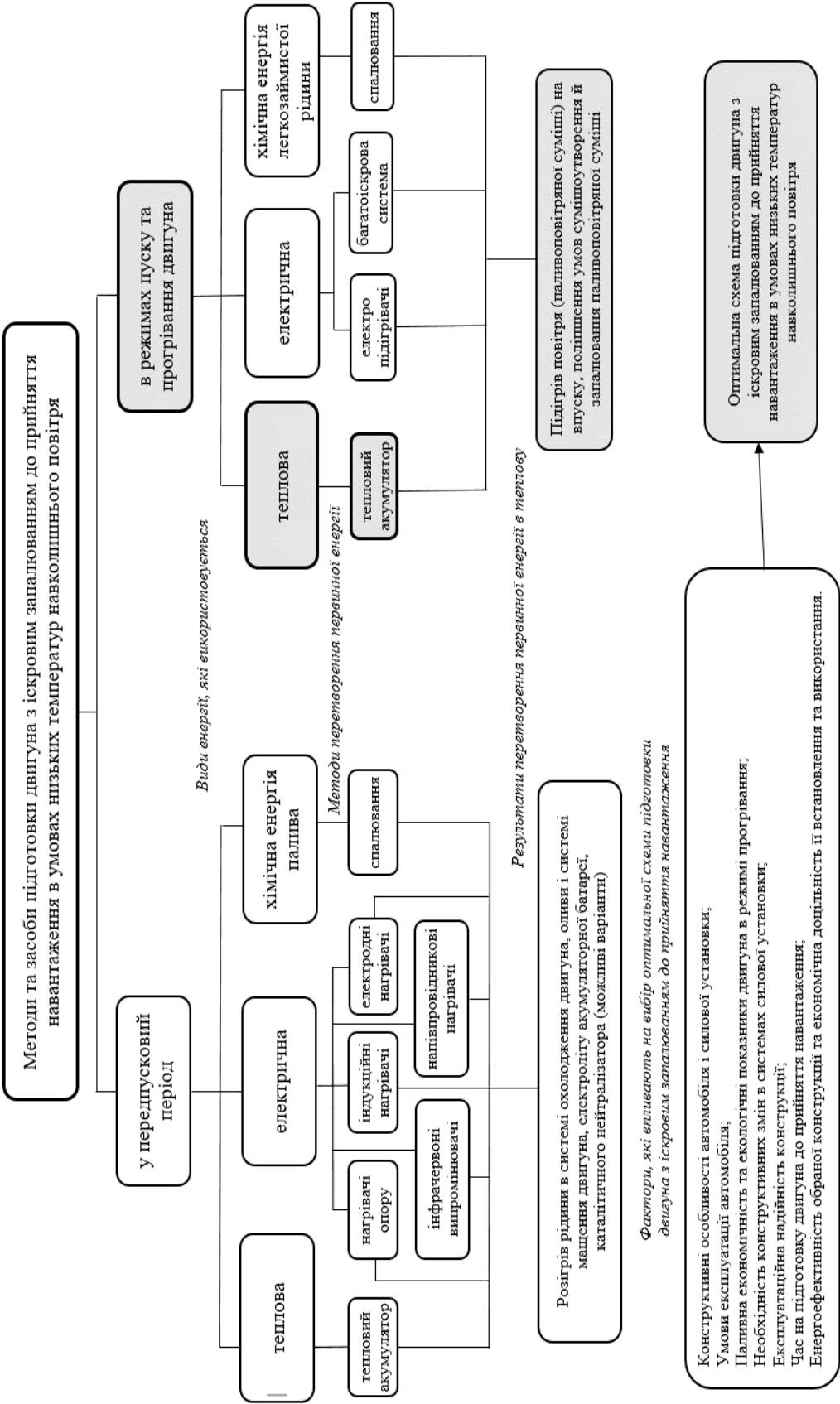


Рисунок 1.7 - Методи та засоби підготовки двигуна з іскровим запалюванням до прийняття навантаження в умовах низьких температур навколишнього повітря

До пристроїв, які діють у передпусковий період відносяться індивідуальні підігрівачі, які забезпечують передпусковий розігрів двигуна та систем, які забезпечують його роботу, акумуляторної батареї та інші. Передпусковий розігрів двигуна забезпечує не тільки підвищення частоти прокручування колінчастого вала двигуна і поліпшує умови займання паливоповітряної суміші, але і зменшує зношування, перш за все циліндропоршневої групи двигуна, при його холодному пуску і подальшому прогріванні.

Індивідуальні передпускові підігрівачі розрізняються між собою:

- за видом використовуваної енергії (енергії, яка перетворюється в теплову);
- способом підведення теплової енергії;
- видом теплоносія;
- теплопродуктивністю та ін.

За видом енергії, яку використовують для забезпечення роботи індивідуальних передпускових підігрівачів розрізняють на ті, які:

- використовують паливо (як правило, паливо для живлення двигун);
- використовують електричну енергію (як правило, електричну енергію штатної акумуляторної батареї автомобіля);
- використовують теплову енергію сторонніх джерел.

Індивідуальні передпускові підігрівачі, які діють завдяки спалюванню рідких вуглеводнів можуть бути рідинні, повітряні і комбіновані (повітряно-рідинні).

В якості теплоносія у рідинних підігрівачах використовують штатну рідину системи охолодження. У повітряних підігрівачів в якості теплоносія, крім чистого повітря, використовують суміш повітря з продуктами згорання (рис. 1.8).

Випробування низки двигунів з індивідуальними рідинними підігрівачами показали, що за час розігрівання, незалежно від прийнятого

способу циркуляції теплоносія, інтенсивне прогріваються тільки головка блоку циліндрів і верхня частина стінок циліндрів двигуна, а також олива в картері двигуна (олива отримує теплоту від ВГ підігрівача, при наявності такої можливості). Темп прогрівання підшипників колінчастого вала в порівнянні зі стінками циліндрів незначний.

Так, за даними джерела [27], середній темп прогрівання стінок циліндрів становить близько $6^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, оливи в картері двигуна до $2,5^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, корінних підшипників колінчастого вала до $1,5^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

За відсутності в індивідуальному підігрівачі можливості підігрівання оливи в картері двигуна, швидкість наростання температури оливи знижується в кілька разів. За даними деяких джерел – підвищення температури охолодної рідини на $8...10^{\circ}\text{C}$, приводить до підвищення температури оливи – тільки на $1...1,5^{\circ}\text{C}$.

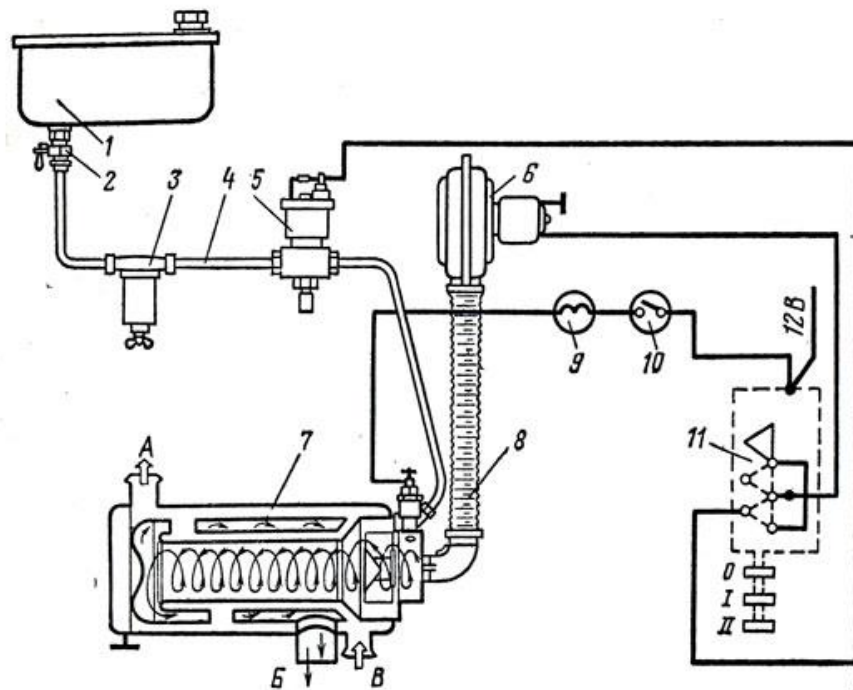


Рисунок 1.8 – Схема передпускового бензинового підігрівача:

1 - паливний бачок; 2 - запірний кран; 3 - фільтр-відстійник; 4 - паливопровід; 5 - електромагнітний паливний клапан; 6 - вентилятор з електродвигуном; 7 - котел підігрівача з пальником; 8 - повітропровід; 9 - контрольна спіраль; 10 - вимикач свічки; 11 - перемикач; А - нагріта рідина до двигуна; Б -

відпрацьовані гази до оливи системи мащення двигуна через картер; В - рідина від двигуна

Крім підігрівачів звичайного типу застосовуються підігрівачі пульсуючого типу, які можуть бути як рідинні, так і повітряні (рис. 1.9).

Даний тип підігрівачів забезпечує розігрівання двигуна завдяки збільшенню температури охолодної рідини (рідинні), оливи в картері двигуна, завдяки нагріванню картера (повітряні).

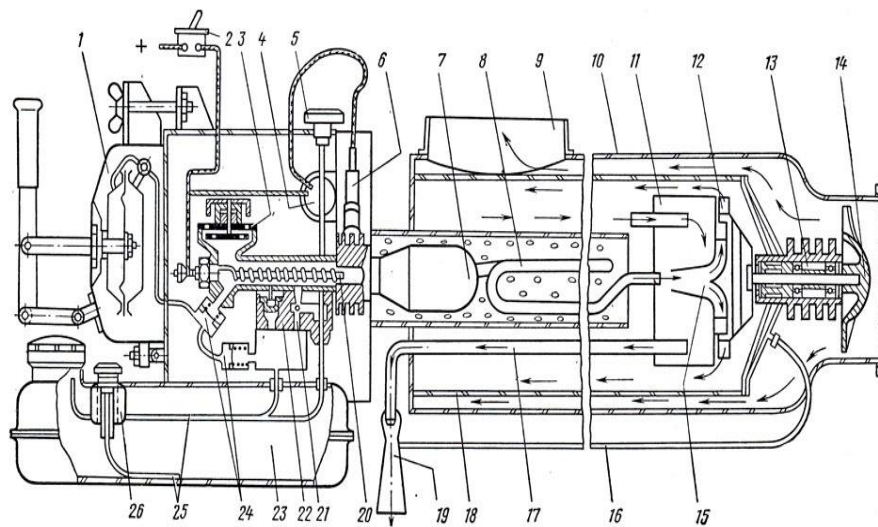


Рисунок 1.9 – Схема повітряного підігрівача пульсуючого типу фірми «EBERSPÄCHER»:

1 - пусковий повітряний насос; 2 - вимикач свічки; 3 - клапан подачі повітря; 4 - котушка запалювання; 5 - рукоятка регулювальної голки; 6 - іскрова свічка; 7 - камера згорання ; 8 - жарова труба; 9 - патрубок зовнішнього кожуха теплообмінника; 10 - зовнішній кожух теплообмінника; 11 - глушник випуску; 12 - колесо турбіни; 13 - порожнина для змащування підшипників вала турбіни; 14 - крильчатка вентилятора; 15 - спрямовуючий апарат; 16 - відсмоктувальна трубка ежектора; 17 - випускна труба; 18 - внутрішній кожух теплообмінника; 19 - ежектор; 20 - свічка розжарювання; 21 - жиклер-розпилювач; 22 - карбюратор; 23 - паливний бачок; 24 - пусковий зворотний клапан; 25 - паливопровід; 26 - паливний фільтр

Робота повітряного підігрівача пульсуючого типу – циклічна: процеси підвищення і пониження тиску з камері згорання повторюються з частотою

кілька десятків разів в секунду. Такий процес згорання палива і роботи підігрівача дозволяє практично виключити споживання електроенергії від штатної акумуляторної батареї — після виходу на усталену пульсацію, зовнішнє джерело електроенергії не потрібне.

Визначення оптимальної методики передпускового розігрівання двигунів показує, що найбільш доцільно здійснювати, розігрівання охолодної рідини і оливи в системі мащення двигуна не до температури, яка відповідає експлуатаційному тепловому режиму двигуна, а до температури, що забезпечують його надійний пуск.

Підбір індивідуального підігрівача даного типу для конкретного двигуна здійснюють за його теплопродуктивністю, залежно від розмірів і вимог до пуску двигуна при низьких температурах навколишнього повітря.

Експлуатаційними недоліками даного типу підігрівачів є непродуктивні витрати палива і через це додаткові викиди ШР, підвищена пожежонебезпека під час роботи підігрівача та ін.

Індивідуальні передпускові підігрівачі, які діють завдяки електричній енергії використовують для розігрівання:

- охолодної рідини системи охолодження двигуна;
- оливи в картері двигуна;
- електроліту в акумуляторній батареї.

Для передпускового розігрівання двигуна і його систем застосовують електричні нагрівачі різних типів.

За методом перетворення електричної енергії в теплову їх поділяють на:

- напівпровідникові нагрівачі;
- електродні нагрівачі;
- індукційні нагрівачі;
- інфрачервоні випромінювачі.

Останнім часом досить велику увагу приділяють напівпровідниковим

нагрівачам. На базі напівпровідникових підігрівачів розроблені оригінальні пристрої, що полегшують умови займання робочої суміші двигунів з карбюраторною системою живлення та електронною системою центрального впорскування палива.

Враховуючи високі вимоги, що висувають до електробезпеки, найбільш доцільною конструкцією електронагрівального елемента є герметичні трубчасті електронагрівачі (ТЕН). Висока надійність і електробезпека, можливість надання необхідної форми ТЕН дозволяють широко їх використовувати в різних конструкціях електронагрівачів. ТЕН – це металева оболонка у вигляді трубки з жароміцного матеріалу, в середину якої запресовано спіраль з ніхромового дроту, ізольовану від оболонки спеціальним наповнювачем з хорошою тепловіддачею.

Розроблено досить багато конструкцій схем для розігрівання охолодної рідини і оливи в системі мащення двигуна (рис. 1.10). Встановлення в експлуатаційних умовах ТЕН на елементи силової установки не завжди можливе через необхідність внесення змін у конструкцію цих систем, що може знизити експлуатаційну надійність силової установки в цілому.

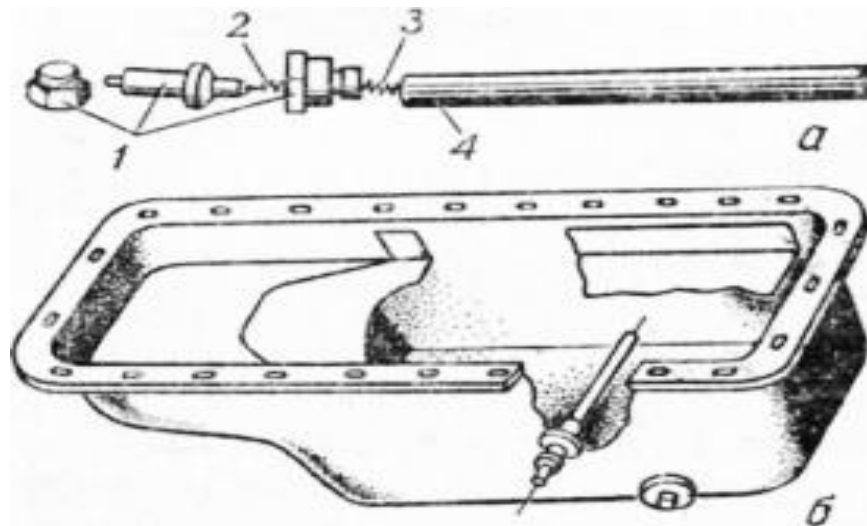


Рисунок 1.10 – Нагрівальний елемент низької напруги

для розігрівання оливи в картері двигуна:

а — будова елемента; б — монтажна схема установки елемента

Під час пуску холодного двигуна випаровується лише незначний відсоток легких фракцій бензину. Паливо, яке не випарувалося, конденсується на стінках впускного колектора створюючи паливну плівку, при потраплянні її в циліндри двигуна відбувається забризкування електродів свічок запалювання і змивання плівки оливи зі стінок циліндрів. Повне випаровування бензину в умовах низьких температур навколишнього повітря можна забезпечити, застосовуючи спеціальний бензоелектровипарний пристрій Його встановлюють у впускному колекторі бензинового двигуна для нагрівання бензину до температури $189...195^{\circ}\text{C}$ (температура кінця розгонки бензину).

Пристрій складається з двох систем — електричної і паливної (рис. 1.11).

Електрична система живиться від бортової акумуляторної батареї 1. До складу системи належать електровипарники бензину 4, електромагнітний клапан 6, резистор з термореле 3, вимикач 2 і контрольна лампочка 7.

Паливна система забезпечує подачу бензину на поверхню нагрівального елемента електричного випарника і складається з паливного бачка 8 з фільтром, запірного клапана 6 і бензопроводів 5.

Кількість бензину, що надходить у випарник, дозує регулювальна голка електромагнітного паливного клапана за умови, щоб весь бензин випаровувався.

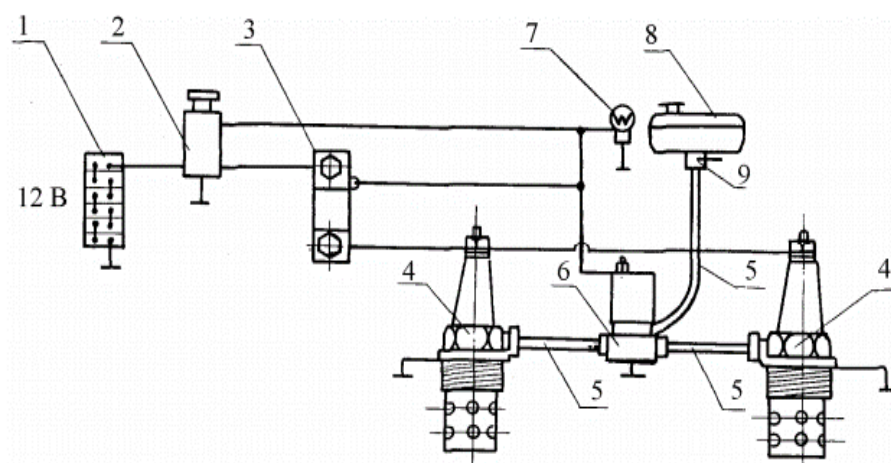


Рисунок 1.11 – Схема бензоелектровипарного пристрою для пуску холодних 6- і 8- циліндрових карбюраторних двигунів:

1 – акумуляторна батарея; 2 – трипозиційний перемикач; 3 – резистор з тепловим реле; 4 – електровипарники бензину; 5 – бензопроводи; 6 – електромагнітний паливний клапан; 7 – контрольна лампочка; 8 – бензобачок з фільтром; 9 – запірний кран.

Для забезпечення функціонування і підвищення ємності акумуляторної батареї в період пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря все більш широке розповсюдження отримує:

- електропідігрів електроліту акумуляторної батареї електронагрівачами з живленням від зовнішньої електричної мережі або генератора автомобіля при роботі двигуна;
- утримування акумуляторної батареї на автомобілі в теплоізоляційних контейнерах з підігрівом.

Підігрів акумуляторної батареї забезпечують як електронагрівачами, вбудованими в моноблок, так і розміщеними в контейнері для акумуляторної батареї (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Утеплювач з підігрівом для автомобільної акумуляторної батареї

У індукційному нагрівачі охолодна рідина нагрівається в трубці, якою

вона тече, а останню нагріває індукційний струм, створюваний котушкою (рис. 1.13).

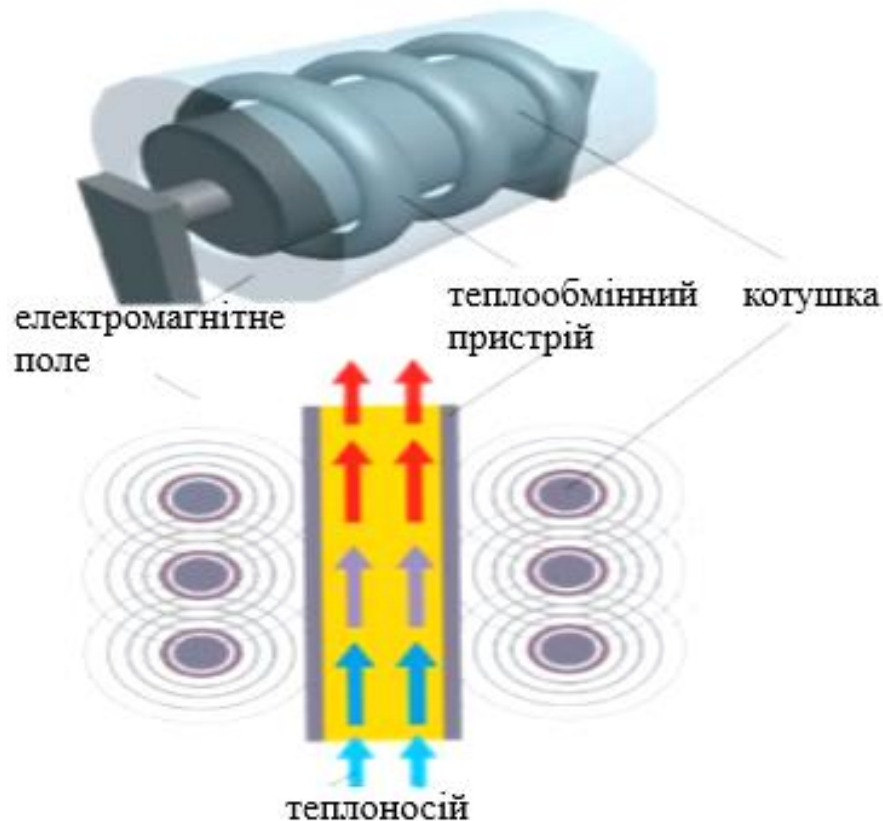


Рисунок 1.13 – Індукційний нагрівач охолодної рідини

Інфрачервоні нагрівальні елементи застосовують для підігрівання оливи системи мащення в картері двигуна перед холодним пуском. Завдяки застосуванню у своїй структурі алюмомагнієвих сплавів, захищених поліметалами, нагрівальний елемент має високу надійність і ефективність.

Інфрачервоний нагрівальний елемент при роботі випромінює теплову енергію, практично, не нагріваючи повітря. Тому інфрачервоний нагрівальний елемент має низку переваг перед будь-яким іншим типом пристрою для підігрівання (рис. 1.14).

Пристрої, що полегшують пуск двигуна і діють безпосередньо в режимі пуску, покращують умови сумішоутворення і запалювання палива [28].

Відомі пристрої для поліпшення сумішоутворення в двигунах з іскровим запалюванням, що містять елементи, які встановлюють у впускному

колекторі та нагрівають за допомогою електроенергії, що забезпечує підігрів повітря у впускному колекторі і створює при цьому умови для додаткового випаровування рідкої фази палива паливоповітряної суміші.



Рисунок 1.14 – Інфрачервоний нагрівальний елемент

Для поліпшення випаровування бензину при пуску холодного двигуна, у впускному колекторі встановлюють електричний елемент (рис. 1.15).



Рисунок 1.15 – Пристрій для поліпшення сумішоутворення в двигунах з іскровим запалюванням

Металева шпиляста поверхня в режимі пуску холодного двигуна практично миттєво нагрівається завдяки електричній енергії бортової акумуляторної батареї до 180°C . Рідка фаза бензину потрапляє на металевий елемент інтенсивне випаровується та більш якісно перемішується з повітрям, що приводить до більш рівномірного розподілу палива по циліндрах, поліпшує умови холодного пуску і зменшує витрату палива. При досягненні температури охолодної рідини $60...65^{\circ}\text{C}$ подібний пристрій автоматично відключається.

Недоліками таких пристроїв є, насамперед, збільшення опору на впуску, недостатня ефективність за малої площі контакту паливоповітряної суміші і нагрівального елемента, для роботи потрібне підключення до бортової електричної мережі автомобіля.

Ще один захід поліпшення пуску автомобільних двигунів з іскровим запалюванням – застосування в режимі пуску холодного двигуна спеціальних рідин, які мають високий тиск насичених парів і широкі межі займистості, що надає можливість значно знизити граничну температуру можливого пуску і величину мінімальних пускових частот обертання колінчастого вала. Маючи високий тиск насичених парів, пускова рідина інтенсивна випаровується у впускному колекторі двигуна, що утворює робочу суміш з широкими межами займання і сприяє забезпеченню пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Для забезпечення подачі легкозаймистої рідини в циліндри двигуна розроблено багато пристроїв. Найбільшого поширення отримав пристрій розпилювання легкозаймистої рідини безпосередньо у впускний колектор пневматичним або механічним способом (рис. 1.16, рис. 1.17).

Багатоіскрову систему встановлюють в розрив між переривачем і котушкою запалювання, що зменшує іскрове навантаження на контакти, поліпшує пуск холодного двигуна при низьких частотах обертання колінчастого вала і при холодній акумуляторній батареї. Багатоіскрова

система запалювання забезпечує в момент розімкнутого стану серію іскор з частотою 50 Гц і більше.

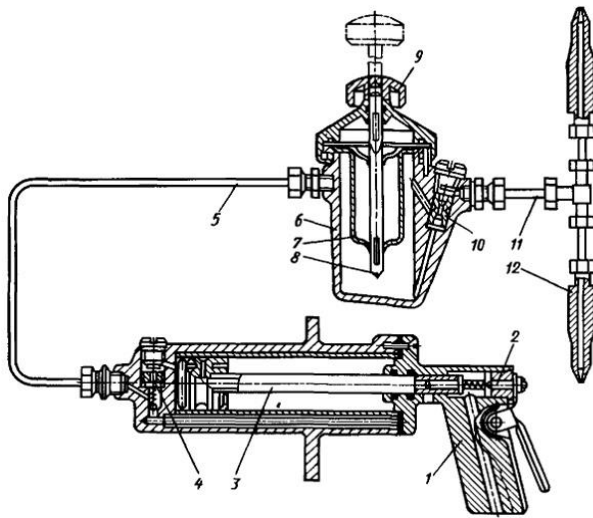


Рисунок 1.16 – Пусковий пристрій
5ПП-40А:

- 1 - рукоятка повітряного насоса;
- 2 - повітряний клапан;
- 3 - шток з поршнем;
- 4 - перепускний клапан;
- 5 - повітропровід;
- 6 - корпус змішувача;
- 7 - капсула для рідини;
- 8 - голка-проколювач;
- 9 - кришка-змішувач;
- 10 - жиклер-змішувача;
- 11 - емульсійний трубопровід;
- 12 - розпилювач

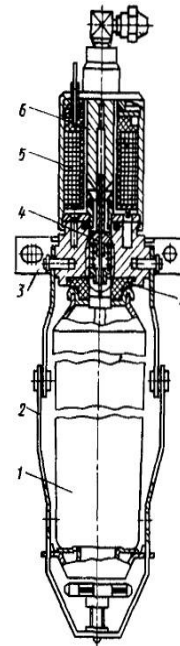


Рисунок 1.17 – Пристрій для
аерозольного розпилювання
легкозаймистої рідини:

- 1 - балон;
- 2 - дужки кріплення балона;
- 3 - кронштейн кріплення;
- 4 - емульсійна трубка;
- 5 - електромагніт;
- 6 - сердечник;
- 7 - гумовий ущільнювач

Останнім часом для збереження теплоти на борту автомобіля з метою її

використання в процесі прискореного прогрівання холодного двигуна все частіше застосовують системи акумулювання теплової енергії. До переваг ТА можна віднести їх повну незалежність від будь-яких джерел енергії під час забезпечення розігрівання систем силової установки.

Відомо, що близько 50...60% теплової енергії, отриманої при згоранні палива складають теплові втрати, насамперед, з охолодною рідиною та ВГ. Створення пристрою, здатного утилізувати, акумулювати й зберігати на досить тривалий час частину цієї теплової енергії з метою подальшого її використання, є одним з найбільш перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті [29 – 33].

Дія акумулятора теплової енергії ґрунтується на акумулюванні частини теплової енергії ВГ та (або) надлишкової теплової енергії охолодної рідини під час роботи двигуна, її зберіганні та використанні в подальшому для розігрівання елементів силової установки перед пуском. На сьогоднішній день розроблена і випробувана досить велика кількість технічних рішень у цьому напрямку, створено багато різноманітних нових типів і конструкцій ТА.

Можливість акумулювання теплової енергії полягає у реалізації фізичного або хімічного процесів, пов'язаних з поглинанням і виділенням теплоти. До основних процесів відносяться: накопичення-вилучення внутрішньої енергії при нагріванні-охолодженні твердих або рідких речовин; фазові переходи з поглинанням-вилучення прихованої теплоти в матеріалах, які акумулюють теплову енергію.

Серед технічних рішень, спрямованих на підготовку холодного двигуна до пуску в умовах низьких температур навколишнього повітря, можна виділити пристрій принцип дії якого полягає у теплоємнісному акумулюванні енергії. Схема пристрою полегшення пуску двигуна (рис. 1.18).

Режими дії пристрою полегшення пуску двигуна з тепловим акумулятором:

- заряд теплового акумулятора;

- зберігання теплової енергії;
- розряд теплового акумулятора – розігрівання двигуна (системи охолодження та/або мащення) та/або обігрів салону автомобіля.

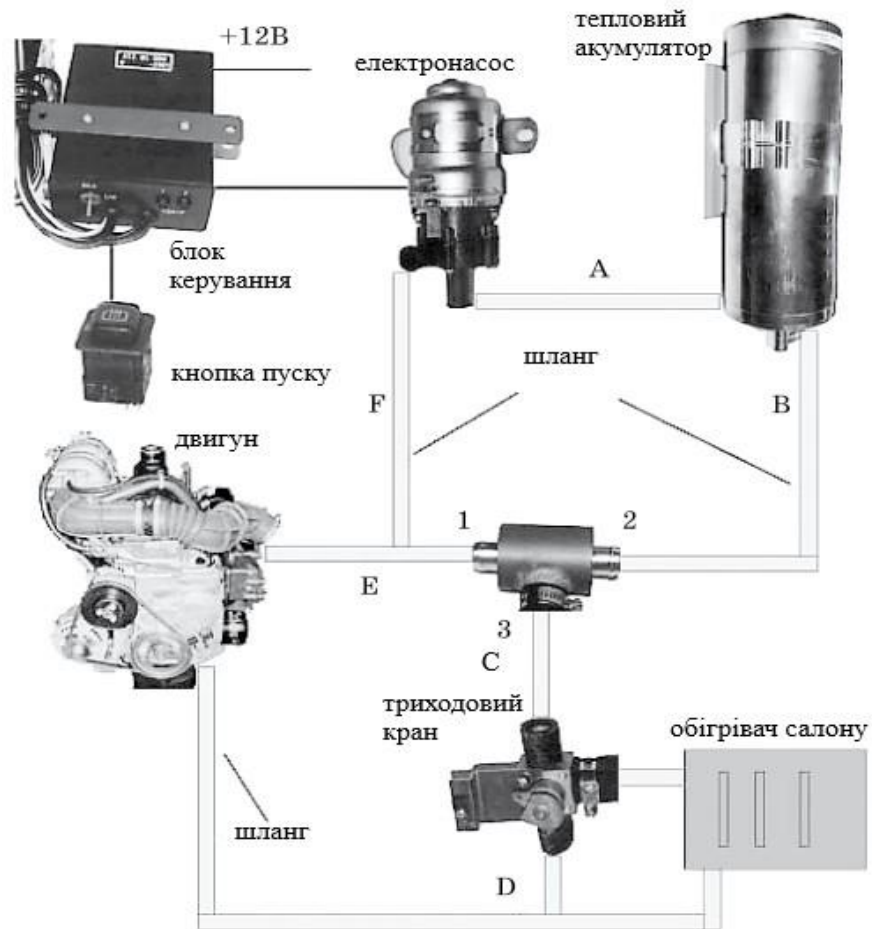


Рисунок 1.18 – Схема пристрою полегшення пуску двигуна з тепловим акумулятором

При роботі двигуна у штатному режимі пристрій полегшення пуску двигуна не функціонує, гідроклапан з'єднує напрямок 1-3 і направляє потік рідини по лінії E-C-D-Двигун, оминаючи тепловий акумулятор. При працюючому електронасосі гідророзподільник забезпечує пропускання потоку у напрямі 2-3, і потік охолодної рідини йде по лінії A-B-C-D-Двигун-E-F. Триходовий кран служить для перемикання в обхід обігрівача салону, коли закритий його власний кран. Управляють краном за допомогою рукоятки ручного приводу, що встановлена в салоні автомобіля і з'єднана тросом з краном.

Заряджання ТА. Перед використанням пристрою для розігрівання двигуна ТА повинен бути заповнений гарячою рідиною з системи охолодження. Перший заряд ТА відбувається автоматично після прогріву двигуна до експлуатаційного температурного режиму. Рідину нагнітає в ТА електронасос. Витиснута з ТА холодна рідина надходить у систему охолодження двигуна, дещо знижуючи її температуру. Блок управління надалі періодично повторює заряд ТА. За необхідності, щоб повторити заряд, потрібно натиснути кнопку пуску. Для підвищення ефективності роботи пристрою заряджання проводять при максимально високій температурі охолодної рідини. Іноді може знадобитися кілька послідовних циклів заряджання.

Зберігання теплової енергії. Режим настає з моменту зупинки двигуна. ТА заповнений рідиною, температура якої із-за витоку теплоти знижується. Період охолодження рідини в ТА може складати залежно від моделі від 20 до 68 годин, при цьому температура рідини в ТА збереже до 30...40% накопиченої за період заряджання теплової енергії.

Розряджання ТА. Розігрівання холодного двигуна проводять перед пуском з метою його полегшення. При включенні електронасоса гаряча рідина з ТА надходить в малий контур системи охолодження двигуна. Процес перекачування відбувається заміщенням холодної рідини гарячою без їх перемішування, що сприяє більш інтенсивному розігріванню двигуна. В залежності від моделі пристрою полегшення пуску двигуна з тепловим акумулятором, процес прокачування рідини займає від 30...40 секунд до 5...8 хвилин. Значення температури охолодної рідини в двигуні може бути показником ефективності використання пристрою полегшення пуску двигуна.

Обігрівання салону. Даний режим дозволяє використовувати теплоту рідини в ТА для обігріву салону при непрацюючому двигуні. Електронасос безперервно прокачує через обігрівач теплу рідину з ТА.

Нині, як зазначалося вище, перспективним напрямом у галузі

створення енергоємних ТА є використання прихованої теплоти фазового переходу «плавлення – кристалізація». Акумулятори на основі фазового переходу порівняно з традиційними теплоємнісними акумуляторами мають високу щільність акумульованої енергії. У зв'язку з цим, особливо важливого значення набувають пошук і розроблення нових енергоємних та дешевих ТАМ для теплоакумуючих пристроїв. Для з'ясування можливості застосування того або іншого ТАМ у ТАФП важливе значення мають перш за все теплофізичні властивості, такі як температура і теплота плавлення, щільність, теплоємність та теплопровідність у твердій і рідкій фазах та в'язкість у рідкій фазі.

В працях вітчизняних та зарубіжних вчених розроблені і досліджені численні способи і засоби полегшення пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. Тим не менш, практика експлуатації показує, що багато з них мають суттєві недоліки, які вимагають пошуку принципово нових способів розв'язання задачі пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря [34, 35].

Використання багатьох з цих пристроїв, призводить до невиправданих фінансових витрат, які пов'язані з їх встановленням і обслуговуванням, витратами на паливо для їх роботи, що призводить до додаткового забруднення навколишнього середовища ШР, які містяться в продуктах згорання. Використання електричної енергії штатної акумуляторної батареї для живлення пристроїв полегшення пуску під час теплової підготовки двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря може привести до неможливості забезпечення подальшого пуску двигуна.

Таким чином, аналіз стану питання, яке пов'язане з пуском холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря показав, що використання для передпускового розігрівання двигуна з іскровим запалюванням індивідуальних підігрівачів з використанням бензину не забезпечує необхідного підвищення температури оливи в картері двигуна, і, тим більше, достатнього прогрівання підшипників колінчастого вала при

відповідному прогріві стінок циліндрів двигуна і є малоефективним пристроєм, що вимагає додаткової витрати палива і часу (залежно від температури навколишнього повітря).

Використання електричних пристроїв для забезпечення підігріву елементів силової установки, як в передпусковий період для підігрівання охолодної рідини та оливи системи мащення двигуна, так і під час пуску для поліпшення сумішоутворення в двигунах з іскровим запалюванням, що містять елементи, які живляться електроенергією та встановлюються у впускному колекторі, може привести до критичного зниження ємності штатної акумуляторної батареї, що призведе до неможливості пуску двигуна.

До того ж, спеціальна обробка циліндропоршневої групи сучасних двигунів і сучасні синтетичні загущені оливи, що використовують в системі мащення двигуна при низьких температурах навколишнього повітря, зводять різницю зносу при пуску холодного двигуна різними методами практично до нуля.

Синтетичні оливи, завдяки однорідній молекулярній структурі, мають виняткові в'язкісно-температурні характеристики, що істотно полегшує пуск холодного двигуна, без попереднього розігрівання [36].

З урахуванням вищевикладеного, можна зробити деякі узагальнення пов'язані з пуском холодного двигуна:

- встановлення та використання для теплової передпускової підготовки холодного двигуна індивідуальних рідинних підігрівачів, які використовують паливо або електричну енергію, в тому числі і ТА, з метою розігрівання охолодної рідини і/або оливи в картері двигуна веде, передусім, до невиправданих економічних витрат, внесення не санкціонованих виробником суттєвих змін у конструкцію двигуна та систем, які забезпечують його роботу і, як наслідок, до зниження надійності роботи силової установки;

- для вирішення задачі пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням, зокрема з карбюраторною системою живлення і системою центрального впорскування з електронним керуванням, необхідно

забезпечити якісне сумішоутворення та відповідні умови для займання паливоповітряної суміші. Ця задача вирішується, як завдяки забезпеченню оптимальної температури повітря, що надходить у двигун під час пуску, так і її стабілізації протягом прогрівання двигуна.

Авторами, у роботі [37], встановлено, що забезпечення оптимальної температури повітря на вході в двигун сприяє поліпшенню гомогенності паливоповітряної суміші, що сприятливо позначається на протіканні робочого процесу в циліндрах двигуна і, як наслідок, на паливній економічності та екологічних показниках двигуна.

1.3 Аналіз шляхів економії палива та зменшення шкідливих викидів автомобільними двигунами в режимі прогрівання

Питанням вибору раціональних шляхів поліпшення паливної економічності та екологічної безпеки автомобільних двигунів з іскровим запалюванням в режимах пуску та прогрівання присвячено багато робіт.

Аналіз цього питання дозволяє зробити деякі узагальнення, які дають можливість визначити основні чинники та їх взаємозв'язок. Ці чинники безпосередньо пов'язані з погіршенням паливної економічності та екологічною безпекою холодного двигуна в режимі прогрівання, а саме (рис. 1.19):

- низька температура циліндропоршневої групи, що призводить до погіршення робочого процесу, підвищених втрат на тертя, надходженням частини паливоповітряної суміші в картер двигуна, що призводить до зміни фізико-хімічних властивостей оливи двигуна;
- висока в'язкість оливи в картері двигуна;
- температура КН на початку режиму прогрівання занадто низька для забезпечення ефективних окиснювально-відновних реакцій.

Взаємозв'язки між системами, які забезпечують роботу двигуна і автомобіля в цілому, є складними і тому спроба вирішити одну задачу (поліпшити показник) може призвести до погіршення іншого показника.

Відносні переваги різних способів підготовки холодного двигуна до пуску (в режимі пуску), також залежать від умов холодного пуску (температури навколишнього повітря, часу на підготовку двигуна до пуску, умов зберігання автомобіля та ін.).

В ситуації, коли відбувається пуск холодного двигуна (тобто автомобіль перебуває при температурі, близькій до температури навколишнього повітря), необхідно вирішити завдання скорочення часу на підготовку до пуску і його прогрів, без використання енергії від зовнішнього джерела. У зв'язку з цим, спосіб зберігання енергії на борту автомобіля повинен бути достатньо надійним, з метою забезпечити тривалий час зберігання цієї енергії (як мінімум міжзмінний період) у кількості, яка необхідна для забезпечення підготовки двигуна до холодного пуску та/або полегшення його пуску. Цього необхідно досягти, по можливості, без внесення суттєвих конструктивних змін в системи двигуна із забезпеченням експлуатаційної надійності конструкції та її енергоефективності.

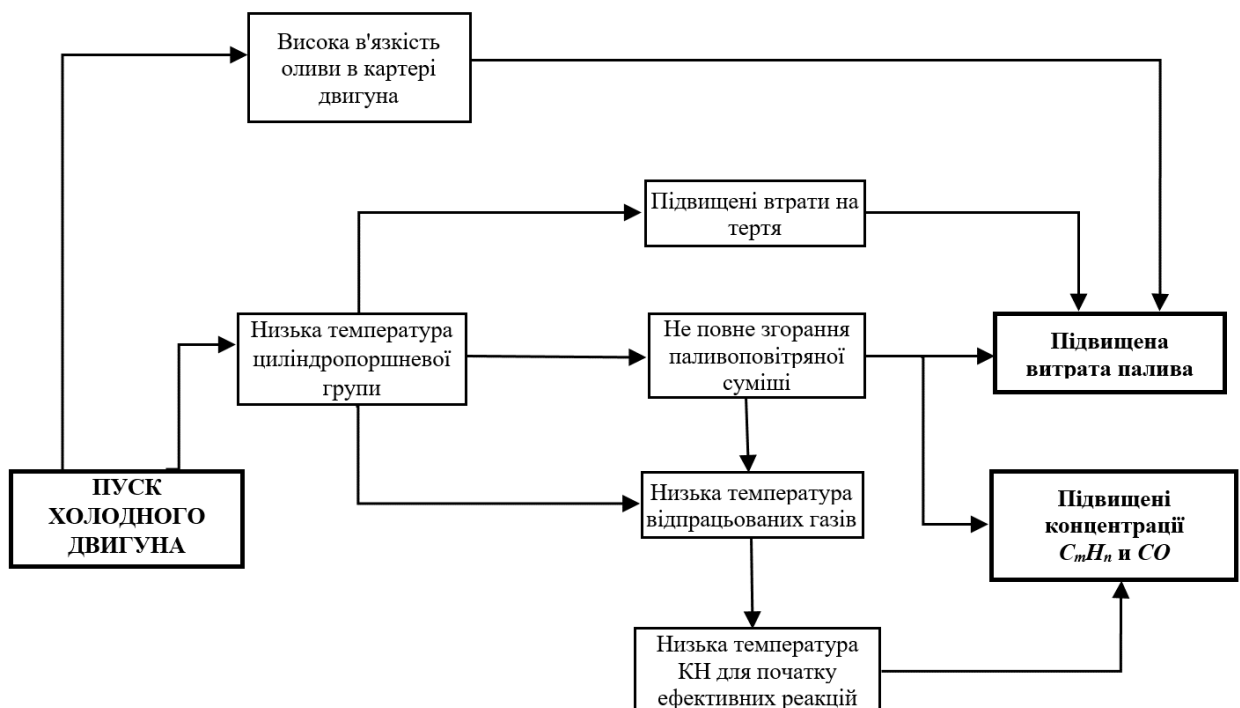


Рисунок. 1.19 – Схема взаємозв'язку основних факторів пуску холодного двигуна, які призводять до погіршення його паливної економічності та екологічних показників.

Огляд і аналіз літературних джерел [1, 3, 23], які пов'язані з впливом природно-кліматичних факторів на енергоефективність двигуна, визначають саме низьку температуру навколишнього повітря, як основний фактор, який впливає на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля.

Так, для розігрівання двигуна ЗИЛ-130 при температурі нижче мінус 40°C до нормальної температури потрібно близько 2,82 л пального. При низьких температурах повітря збільшується в'язкість оливи, що зменшує паливну економічність на 3...5%. Зниження температури на кожні 10 градусів збільшує аеродинамічний опір повітря на 4 %, при цьому витрата палива збільшується на 2,5%.

При зниженні температури від 40°C до мінус 10°C в'язкість бензину збільшується на 76%, а густина - на 6%, при цьому погіршуються умови сумішоутворення і розподіл палива по циліндрах, суміш в циліндри надходить холодною і збідненою, що не забезпечує повне і інтенсивне згорання палива.

На практиці існують різні методи, які дозволяють економити паливно-енергетичні ресурси при прогріванні двигуна автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря. Однак їх недостатнє наукове обґрунтування призводить до неефективного їх використання в цих умовах і, як наслідок, до невиправданих витрат на їх встановлення і теплову підготовку холодного двигуна до пуску.

В даний час немає єдиної думки при якій температурі охолодної рідини двигуна необхідно розпочинати рух автомобіля, і, чи є необхідність використовувати розігрівання двигуна передпусковим підігрівачем. Таку температуру можна встановити визначенням оптимальних значень витрати палива та тривалості теплової підготовки двигуна в режимі прогрівання, що може привести до помітного зниження емісії ШР з ВГ двигуна.

Наприклад, використання продуктів, що містять водень як добавку до основного палива, дозволяє забезпечити стійку роботу двигуна при збіднених сумішах в період прогрівання холодного двигуна. При використанні продуктів, що містять водень емісія ШР в режимі прогрівання двигуна може бути значно

зменшена.

Як було показано раніше, в період прогрівання двигуна після його холодного пуску викидається 60...80% CO і C_mH_n . У зв'язку з цим найважливішим завданням є зниження викидів продуктів неповного згорання в розглянутих режимах. Відомі способи зменшення емісії вуглеводнів – підвищення температури охолодної рідини перед пуском, оптимізація сумішоутворення і швидкості згорання недостатні для вирішення цієї задачі, особливо в початковий період прогрівання.

Тому все більшого значення набуває використання різних методів прискореного прогрівання КН. Сюди слід віднести такі заходи, як підвищення температури ВГ в початковий період прогрівання холодного двигуна, зменшення втрат теплоти у випускній системі, підведення додаткової енергії для розігрівання КН.

Для зменшення втрат теплоти у системі випуску ВГ зменшують відстань між двигуном і КН, використовують керамічні покриття на стінках випускних патрубків. Однак ці заходи підвищують робочу температуру КН не тільки в режимі прогрівання, але і при роботі в режимі максимальних навантажень, що може привести до перегріву КН і виходу його з ладу.

Для розігрівання КН до робочої температури (250...350°C) після пуску холодного двигуна застосовують системи прискореного електричного розігрівання блоку КН. За даними [38] для розігрівання КН необхідна потужність бортового джерела електроенергії від 1 до 2 кВт та від 20 до 40 секунд (1,75 кВт на електронагрів і 0,25 кВт на привід нагнітача для подачі повітря у випускний колектор двигуна). При 12-ти вольтової бортовій акумуляторній батареї сила струму в схемі живлення електронагрівача досягає 150...200А. Час розігрівання спіралі нагрівача до робочої температури складає близько 15 секунд.

Подібні пристрої прискореного розігрівання КН в режимі прогрівання витрачають досить велику кількість електричної енергії від бортової акумуляторної батареї автомобіля. В умовах експлуатації при низьких температурах навколишнього повітря з урахуванням зниження енергоємності

аккумуляторної батареї та її технічного стану проблема ще більше ускладнюється.

Прискорене підвищення температури блоку КН в режимі прогрівання холодного двигуна також можливе в результаті хімічного розігрівання КН впорскуванням в потік ВГ рідких реагентів. Екзотермічне окиснення цих реагентів відбувається без прояву відкритого полум'я. Подібний метод більш ефективний, ніж електричний розігрів, оскільки забезпечує більш інтенсивне виділення теплоти і досягнення необхідної температури в короткий проміжок часу. Для організації екзотермічного процесу хімічного розігрівання КН важливим питанням є вибір найбільш ефективного хімічного реагенту (носія енергії). В якості потенційних енергоносіїв можна використовувати різні органічні сполуки. Можливість використання тієї чи іншої органічної сполуки визначають її властивості, вартість і доступність. Найбільш ефективним реагентом для розігрівання КН є метанол.

Встановлено [39], що при застосуванні комбінованого (електрохімічного) розігрівання з подачею 50 мл/хв метанолу в попередньо прогрітий блок КН від електронагрівача до температури 150°C загальна тривалість розігрівання блоку до температури 400°C становить 7 секунд. При цьому час, необхідний для нагрівання блоку КН лише електричним нагрівачем потужністю 2,1 кВт до температури 400°C, становить 25 секунд.

Незважаючи на досить високу ефективність електрохімічного розігрівання блоку КН, практична реалізація даного способу в умовах експлуатації пов'язана з вирішенням цілої низки складних технічних завдань.

Намітився ще один напрям який дозволяє значно підвищити енергоефективність автомобільного транспорту використанням водню (водневовмісного газу). А саме, використання водню в різних комбінаціях з вуглеводневими паливами, а також використання водню для прискореного розігрівання блоку КН і підвищення його ефективності в режимах пуску холодного двигуна і подальшого прогрівання. Збагачення паливноповітряної суміші воднем можна розглядати як метод спрямованого впливу на його концентраційні межі згорання. Результати виконаних робіт [40, 41] показали,

що вплив водню (водневовмісного газу) при відносно невеликих його добавках надає можливість реалізувати ступені збіднення, які недоступні будь-яким іншим способом.

Однак, при всіх перевагах використання водню (воднювмісного газу) його широке застосування на автомобільному транспорті в даний час стримується об'єктивними причинами. Важливим чинником, здатним стимулювати широке використання водню (воднювмісного газу), є фактор рентабельності. По-перше, суттєвою проблемою є відсутність інфраструктури розподілу водню в необхідних кількостях для його масового використання на автомобільному транспорті. По-друге, для успішного застосування водню (воднювмісного газу) на автомобільному транспорті необхідно вирішення задачі виробництва та безпечного акумулювання водню на борту автомобіля для забезпечення прийнятної енергоефективності.

Одним з альтернативних варіантів вирішення задачі прискореного прогрівання блоку КН і стабілізації його температури при русі в міських умовах є використання ТАФП [30, 31, 41 – 43]. Бортовий ТАФП забезпечує температурну стабілізацію теплових процесів внаслідок зміни стану ТАМ.

Аналіз методів і засобів щодо поліпшення паливної економічності та екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням та системою нейтралізації ВГ дозволяє констатувати. По-перше - методи, засновані на застосуванні різних утеплювачів (які дозволяють зберігати тепловий режим двигуна під час частих і коротких зупинок) в умовах експлуатації виявляються малоефективними. По-друге - системи передпускової теплової підготовки двигуна, які перетворюють хімічну енергію палива або електричну енергію акумуляторної батареї в теплову вимагають додаткової витрати енергії, призводять до додаткових викидів ШР в атмосферу, потребують внесення конструктивних змін в двигуні або в системах, які забезпечують його роботу, що може призвести до зниження надійності автомобіля та потребують додаткового технічного обслуговування. По-третє - використання різного роду нагрівачів і хімічних реагентів у тому числі продуктів, що містять водень для

прискорення виходу системи нейтралізації на режим ефективного функціонування також вимагає вирішення складних технічних і конструктивних завдань і є досить енерговитратним.

1.4 Висновки до розділу 1

1. В літературних джерелах не виявлено результатів досліджень, з впливу температури повітря на впуск в режимі прогрівання холодного двигуна з іскровим запалюванням на його паливну економічність, екологічні показники та початок ефективних реакцій в КН в умовах низьких температур навколишнього повітря.

2. Застосування передпускового розігрівання двигуна, та застосування додаткових пристроїв полегшення пуску холодного двигуна, практично не впливає на зношуваність деталей двигуна, при цьому вимагає внесення досить суттєвих конструктивних змін в системи, які забезпечують його роботу та потребують додаткової витрати енергії.

3. Як один з можливих напрямів забезпечення поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря зокрема в режимах пуску і прогрівання холодного двигуна можна розглядати застосування ТАФП, як джерела теплової енергії, з метою забезпечення підвищення передпускового теплового стану двигуна та зменшення часу на його прогрів.

4. Перспективним напрямом реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті є створення пристрою, який здатен утилізувати та акумулювати частину теплової енергії ВГ з метою подальшого її використання для поліпшення робочого процесу в результаті підігріву повітря на впуск в режимах пуску холодного двигуна та його прогрівання.

5. Також в науковій літературі відсутня достатньо зрозуміла методика розрахунку системи утилізації теплової енергії, включаючи розрахунок ТА для певних експлуатаційних умов.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГРІВУ АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА

2.1 Розробка структурної схеми методики проведення досліджень

Температурний режим роботи автомобільного двигуна в умовах експлуатації залежить від багатьох факторів. Разом з тим за допомогою регулюючих температуру пристроїв в більшості режимів роботи двигуна автомобіля температура охолодної рідини і оливи в системі мащення двигуна підтримується в певних, необхідних для забезпечення його ефективної роботи межах. Виняток складає режим прогрівання двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. Як показують раніше проведені дослідження, режим прогрівання холодного двигуна значно впливає на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобіля.

Для визначення вагомості впливу режиму прогрівання двигуна і його теплового стану на названі показники автомобіля проведено аналіз досліджень, виконаних в цьому напрямі (блок 1) в структурній схемі методики проведення досліджень (рис. 2.1).

Пуск холодного автомобільного двигуна та його прогрівання здійснюють різними методами. Оцінюють ефективність використання того чи іншого методу, як правило, витратою палива на підготовку (розігрівання) холодного двигуна до пуску та в режимі прогрівання, тривалістю роботи двигуна та емісією ШР в ВГ двигуна в цьому режимі. Тому доцільно провести аналіз відомих методів прогрівання двигунів з іскровим запалюванням з точки зору впливу цих методів на вищезазначені показники роботи двигуна (рис. 2.1, блок 2).

Як правило, робота автомобільного двигуна в режимі прогрівання супроводжується додатковою витратою енергії в тій чи іншій формі. На мінімізацію витрати цієї енергії та зменшення емісії ШР в ВГ двигуна направлені численні дослідження. Тому доцільно проаналізувати результати

цих досліджень з метою встановлення методів, які необхідно дослідити та використати отримані результати в подальших дослідженнях (рис. 2.1, блок 3). Відомо багато методів прогріву автомобільних двигунів та систем для їх реалізації. Разом з тим реалізація багатьох з відомих методів і систем прогріву автомобільних двигунів можлива лише в процесі виробництва автомобілів або не може бути застосована без погодження з заводом-виробником двигунів.

У зв'язку з цим, в умовах експлуатації переважно можна застосовувати лише такі системи підігріву, які мінімізують вплив обраної конструкції на функціонування інших систем і механізмів двигуна. Тому в загальну методику досліджень включено блок аналізу систем розігріву та прогріву двигуна (рис. 2.1, блок 4).

З використанням результатів цього аналізу обрана система прогріву двигуна легкового автомобіля з підігрівом повітря на впуску, установка обраної системи не вимагає внесення суттєвих конструктивних змін в системи і механізми двигуна.

Для отримання теплової енергії для підігріву повітря на впуску без додаткових витрат на її отримання використали ТАФП, в якому накопичується утилізована частина теплової енергії ВГ (рис. 2.1, блок 5).

Для забезпечення належного функціонування ТА необхідно обґрунтувати вибір матеріалу для акумулювання теплової енергії, конструктивні параметри ТА та матеріал для забезпечення теплової ізоляції ТАФП в режимі зберігання теплової енергії. Для цього необхідно розробити методику розрахунку ТАФП та провести розрахунок системи підігріву повітря на впуску з ТАФП двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням (рис. 2.1, блок 6).

Для отримання вихідних даних для визначення ефективності використання того чи іншого методу прогрівання двигуна та розробленої системи підігріву повітря на впуску необхідно провести широкі експериментальні дослідження: стендові випробування двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення паливом та дорожні випробування автомобіля, за результатами яких буде здійснена перевірка

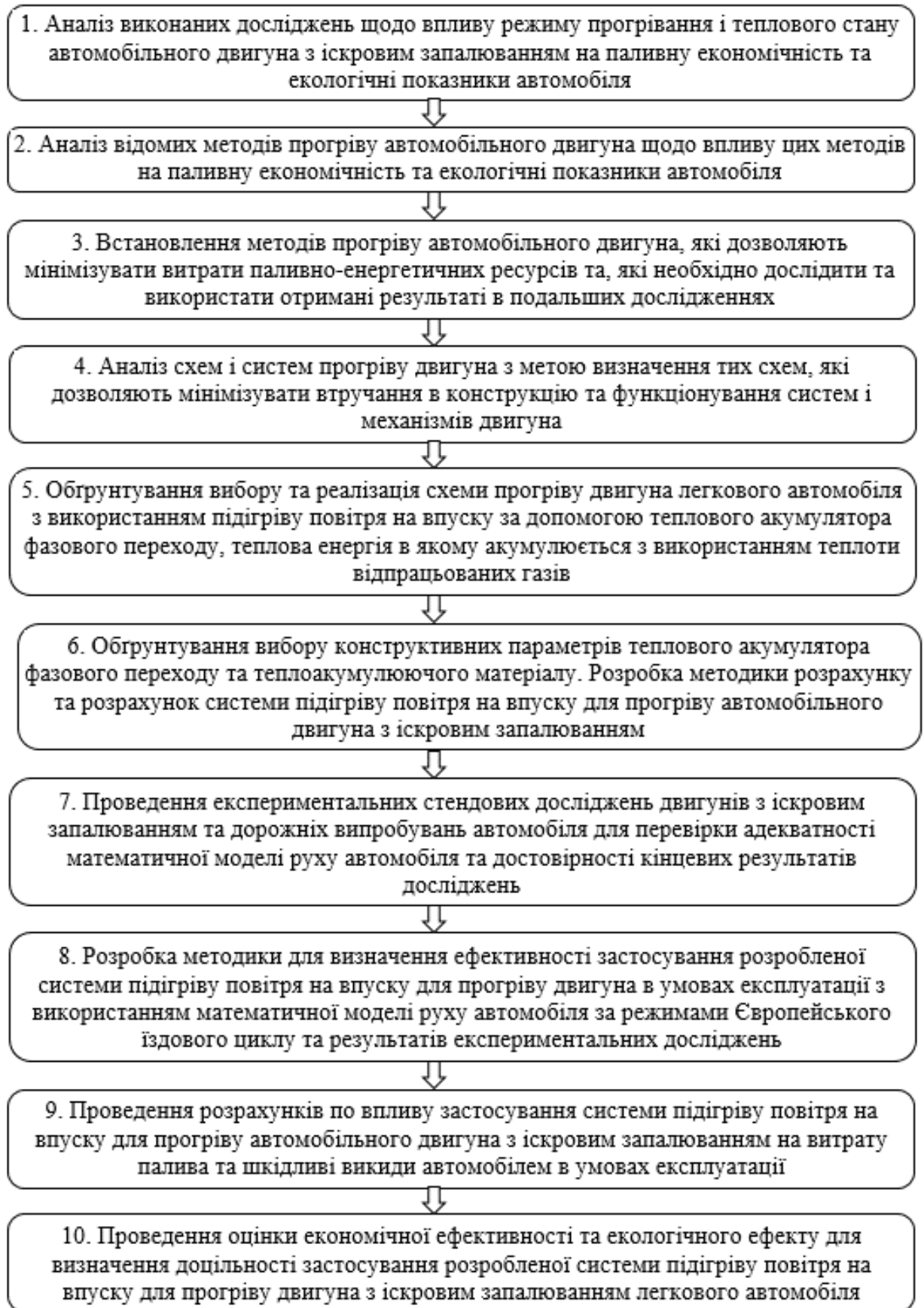


Рис. 2.1 – Структурна схема методики проведення досліджень

адекватності математичної моделі та доведена достовірність кінцевих результатів досліджень (рис. 2.1, блок 7).

Для визначення ефективності застосування обраної системи прогріву автомобільного двигуна з точки зору паливної економічності і зменшення емісії ШР в ВГ необхідно розробити окрему методику, за якою, з використанням математичної моделі руху автомобіля за режимами Європейського міського їздового циклу та результатів експериментальних досліджень, оцінити ефективність застосування цієї системи прогріву в умовах експлуатації. Для розробки такої методики необхідно уточнити математичну модель руху автомобіля і розробити підходи для визначення кількісної оцінки застосування прийнятої системи прогріву двигуна (рис. 2.1, блок 8).

З розробленою методикою (рис. 2.1, блок 8) доцільно здійснити розрахунки стосовно визначення впливу застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП для прогріву автомобільного двигуна з іскровим запалюванням на паливну економічність і зменшення емісії ШР в ВГ в умовах експлуатації (рис. 2.1, блок 9).

Для визначення доцільності широкого застосування розробленої системи підігріву повітря на впуску з ТАФП для прогріву двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням виконано оцінювання економічного та екологічного ефекту (рис. 2.1, блок 10).

2.2 Аналіз досліджень з питань використання теплових акумуляторів для прогріву автомобільних двигунів з метою реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті

В даний час питанням, що пов'язані з акумулюванням теплової енергії приділяють підвищену увагу. Науковий і виробничий інтерес до цього питання обумовлений однією з найбільш значущих задач, яка пов'язана, передусім, з раціональним використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Цей інтерес різко зріс в 70-ті роки XX століття, коли в країнах Західної Європи і Сполучених Штатах Америки відбулася енергетична криза.

Акумулювання теплової енергії предстает одним з найбільш прийнятних альтернативних способів підвищення енергетичної ефективності в різних галузях господарювання, в тому числі і на автомобільному транспорті. У зв'язку з цим, дослідження, які пов'язані з поліпшенням паливної економічності автомобіля в умовах експлуатації використанням його вторинних енергетичних ресурсів є своєчасними й актуальними.

Відомо, що близько 50...60% теплоти, отриманої від згорання палива, складають теплові втрати з охолодною рідиною і ВГ. Створення пристрою, який здатний утилізувати, акумулювати та зберігати на досить тривалий час (міжзмінний період експлуатації автомобіля) частину цих втрат у вигляді теплової енергії з метою подальшого її використання, є одним з найбільш перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті.

Питання, які пов'язані з акумулюванням та використанням надлишкової теплової енергії досить інтенсивно досліджують вітчизняні та зарубіжні вчені в різних галузях техніки. Так, в автомобілебудуванні ця проблема знайшла відображення у працях [29 – 31, 42, 44 – 47] та ін. Цими дослідниками було виконано обґрунтування і запропоновано методику розрахунку, створення та дослідження бортових ТА для забезпечення передпускового підігріву холодного двигуна та прискореного його прогріву в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Авторами статті [48], на підставі проведеного теплового розрахунку екскаватора ЕО-5126 наведено дані, які показують, що за рік втрата теплової енергії двигуном, яке надходить в навколишнє середовище, складає понад 100 тис. МДж при середньому річному наробку – 3600 годин. Цієї енергії, за твердженням авторів, цілком достатньо для опалювання протягом року житлового будинку площею 250 м². У зв'язку з цим, вважають за доцільне використовувати надлишкову теплоту, яку виробляє двигун внутрішнього

згорання, для підвищення ефективності експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря. Для досягнення цієї мети запропоновано застосовувати ТА, якій дозволить акумулювати частину теплоти, яка розсіюється в навколишнє середовище під час роботи двигуна внутрішнього згорання і зберігати у міжзмінний період для використання її при тепловій підготовці холодного двигуна до пуску та забезпечення його прискореного прогрівання.

Враховуючи широкі можливості бортових ТА автомобіля, їх застосування дозволить вирішити різні задачі, які пов'язані з експлуатацією автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря, такі як підігрів (розігрів) охолодної рідини, оливи в системі мащення двигуна, акумуляторної батареї, підкапотного простору, кабіни водія (салону автомобіля) та ін.

Під тепловим акумулюванням мають на увазі фізичні і хімічні процеси, завдяки яких відбувається накопичення теплоти в спеціальному пристрої – ТА.

Речовини, що використовують для накопичення теплової енергії, називають теплоакумуючими матеріалами (ТАМ).

За типом процесу в ТАМ розрізняють [29]:

- акумулювання теплової енергії в наслідок зміни температури ТАМ – теплоємнісне акумулювання;
- акумулювання теплової енергії в результаті використання теплоти фазового переходу ТАМ;
- термохімічне акумулювання теплової енергії.

Теплоємнісне акумулювання ґрунтується на здатності речовини накопичувати енергію при нагріванні. При цьому кількість акумульованої енергії залежить від температури, на яку нагрівається ТАМ та його питомої теплоємності.

Іншим способом є акумулювання теплової енергії, що ґрунтується на використанні оборотного процесу фазового переходу (зміни агрегатного

стану) ТАМ – «плавлення – кристалізація». ТА на основі фазового переходу в порівнянні з традиційними теплоємнісними мають більш високу щільність акумульованої теплової енергії.

Спосіб термохімічного акумулювання теплової енергії ґрунтується на використанні оборотних хімічних реакцій. Він дозволяє запасати теплової енергії на одиницю маси більше, ніж у перших двох випадках, але досить складний у реалізації.

З розглянутої специфіки процесів в ТАМ, можна зробити висновок, що використання акумулювання теплової енергії, яке ґрунтується на використанні оборотного процесу фазового переходу є прийнятним і перспективним напрямом в галузі створення енергоємних ТА.

У зв'язку з цим особливо важливого значення набувають пошук і розробка нових енергоємних і більш дешевих ТАМ.

Для з'ясування можливості застосування того або іншого ТАМ в ТАФП важливе значення мають, перш за все, теплофізичні властивості: температура і теплота плавлення, щільність, теплоємність та теплопровідність у твердій і рідкій фазах та в'язкість в рідкій фазі.

Функціонування системи «ДВЗ – ТАФП» відбувається наступним чином (рис. 2.2).

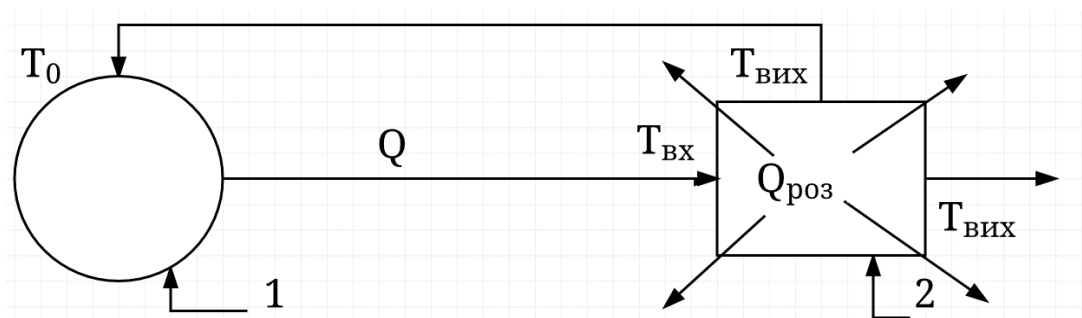


Рисунок 2.2 – Принципова схема функціонування системи

«ДВЗ – ТАФП»:

1 – двигун; 2 – ТАФП

Під час роботи двигуна при температурі навколишнього повітря T_0

потік теплоносія (джерелом теплової енергії може бути охолодна рідина, олива з системи мащення двигуна, відпрацьовані гази) зі змінною у часі масовою витратою $Q(\tau)$ і постійною температурою на вході ($T_{вх} = const$) надходить в ТАФП, віддаючи йому частину своєї теплоти. При цьому частина теплової енергії розсіюється у навколишньому середовищі $Q_{роз}$. Якщо теплоносіями є охолодна рідина чи олива з системи мащення двигуна, то вона з параметром $T_{вих1}$ знову надходить у двигун, якщо відпрацьовані гази – то вони потрапляють з параметром $T_{вих2}$ у навколишнє середовище.

Загальний принцип, закладений у конструкціях теплових акумуляторів фазового переходу, полягає у передачі теплової енергії, акумульованої у ТАФП до двигуна автомобіля для підвищення його теплового стану в режимі підігрівання (розігрівання) в умовах низьких температур навколишнього повітря (рис. 2.3).

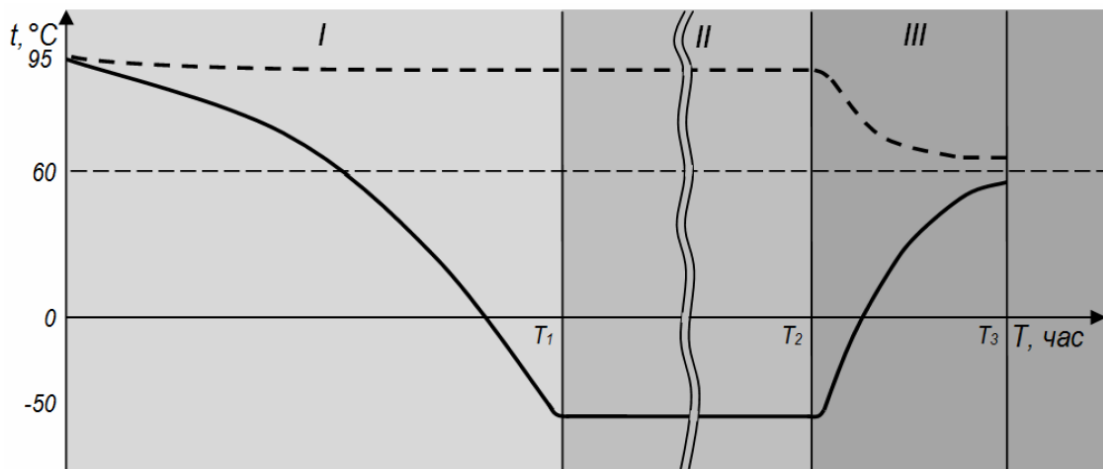


Рисунок 2.3 – Залежність зміни температури ТАФП і ДВЗ під час міжзмінного утримання (загальний принцип) [48]:

— — — тепловий акумулятор;

—— двигун

Режим зарядження. ТА накопичує теплову енергію, яка надходить від двигуна (систем, які забезпечують роботу двигуна). Як зазначалося раніше, джерелом теплової енергії можуть бути охолодна рідина, олива з системи

мащення двигуна, відпрацьовані газы. Температура ТАМ в результаті цього режиму збільшується до необхідної температури (для наведеної схеми 95°C).

Режим зберігання теплової енергії. При міжзмінному утриманні відбувається зниження температури двигуна та систем, які забезпечують його роботу, до температури навколишнього повітря (для наведеної схеми мінус 50°C). В продовж цього часу ТА зберігає накопичену в ТАМ теплоту. Суть ТА полягає у збереженні накопиченої теплової енергії в окремій теплоізолюваній ємності, наповненій ТАМ. При цьому температура ТА поступово знижується через тепловіддачу частини теплоти в навколишнє середовище, проте його конструкція, завдяки наявності теплоізоляційного шару розрахована таким чином, щоб зберегти частину теплової енергії, достатню для передпускового підігріву (розігріву) і подальшого пуску двигуна.

Режим розрядження. При підготовці двигуна до пуску відбувається теплопередача теплової енергії від ТАФП через теплоносій (рідина системи охолодження або олія системи мащення двигуна) до відповідних систем двигуна. Внаслідок чого, температура двигуна збільшується (для наведеної схеми до 50°C), що дозволяє полегшити його пуск та прискорити прогрів.

Виконаний аналіз, насамперед патентно-ліцензійної документації за останні роки [48 – 54] показав, що у теперішній час накопичено достатній досвід створення систем передпускової теплової підготовки двигунів автомобілів з застосуванням ТА. Переважно пропонують застосовувати ТА для розігріву охолодної рідини та оливи системи мащення двигуна перед його холодним пуском. Як теплоносій для зарядки ТА використовують штатну рідину системи охолодження або системи мащення двигуна.

Як приклад, на рис. 2.4 зображена система розігріву двигуна з теплоємнісним тепловим акумулятором, де в якості теплоносія використовують рідину системи охолодження [55].

ТА містить теплоізолювану ємність 10, теплоізоляцію 11, підвідний патрубок 12, відвідний патрубок 13, зворотні поплавцеві теплоізолювані

клапани 14, стрижень 15, шток 16, теплоізований корпус 17, теплоізовану трубу, якою рідина надходить до теплового акумулятора 18, теплоізовану трубу, що відводить охолодну рідину з ТА 19.

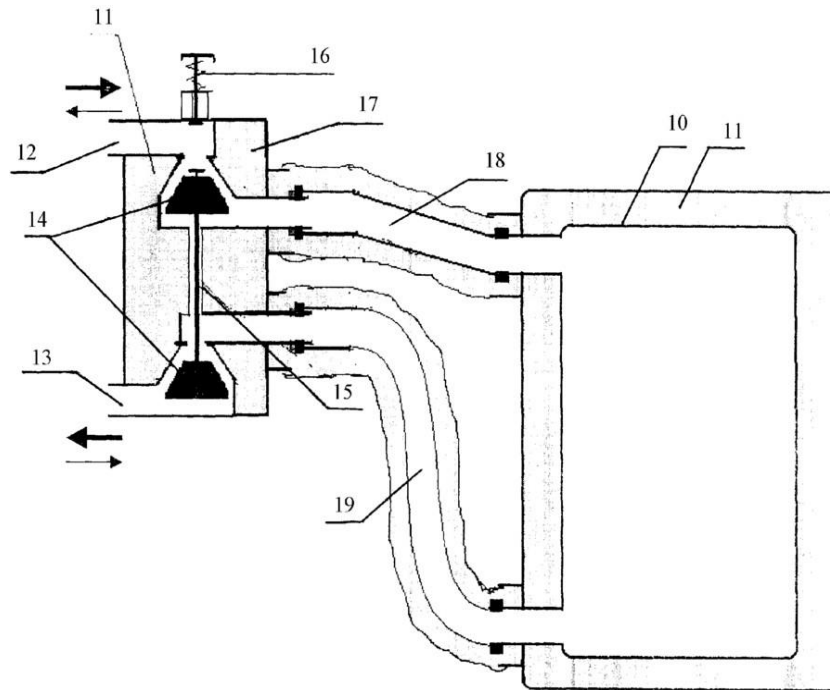


Рисунок 2.4 – Система розігріву двигуна
з теплоємним тепловим акумулятором [55]:

← циркуляція рідини за роботу двигуна

→ циркуляція рідини перед пуском (розігрів) двигуна

На рис. 2.5 наведено систему передпускового розігріву двигуна з ТАФП, де як теплоносії для зарядження ТА використовуються ВГ, а як теплоносії розрядження рідина системи охолодження двигуна [56].

Він складається із зовнішнього 1 і внутрішнього 2 корпусів, простір між якими заповнений шаром теплової ізоляції 3 (мінеральна вата). Середині корпусу 2 розміщено ТАМ 4, в якому розміщено ребристі 7 труби газового 5 і рідинного 6 теплообмінників. На поверхні труб 5 і 6 закріплені ребра 7.

Щоб уникнути між корпусами 1, 2 і трубами 5, 6 "теплових мостів" встановлені втулки 8 з матеріалу з невеликим коефіцієнтом теплопровідності.

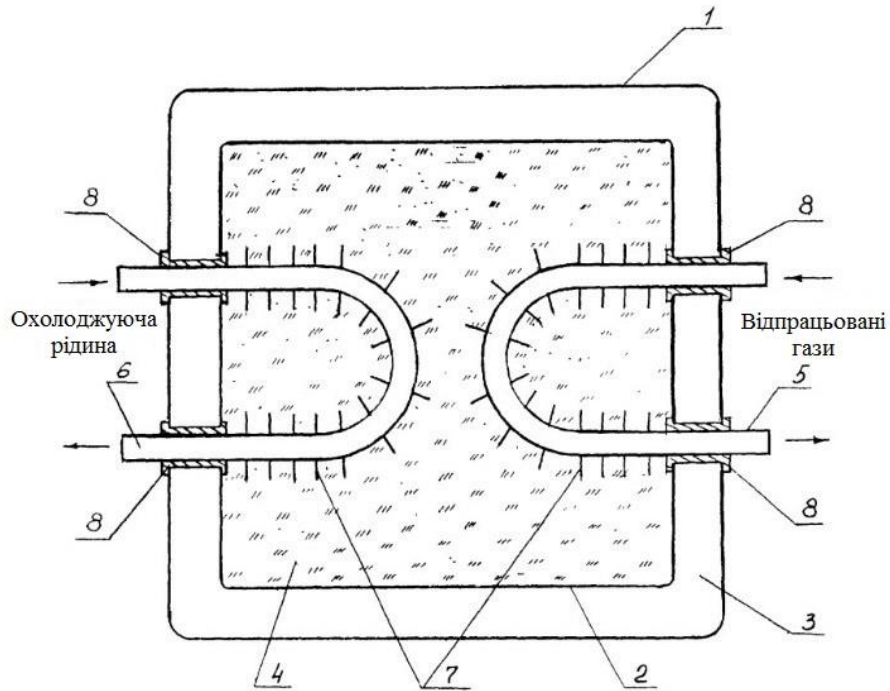


Рисунок 2.5 – Система підігріву двигуна тепловим акумулятором фазового переходу [56]

На рис. 2.6 показана система підігріву двигуна з ТА, де теплоносієм для зарядження акумулятора є ВГ, а теплоносієм розрядження – повітря [57].

У системі передпускової теплової підготовки двигуна з ТАФП газований трубний теплообмінник, як передає теплову енергію до ТАМ, для її накопичення, так і передає накопичену теплову енергію від ТАМ до потоку повітря. Вимушений рух повітря здійснює вентилятор, що приводиться в дію від бортової акумуляторної батареї.

ТАФП багатоходовим газовим краном 3 з'єднаний з двигуном внутрішнього згорання 1 випускним колектором 2. ТАФП складається: із зовнішнього циліндричного корпусу 4, корпусу внутрішнього ядра ТАМ 5, між якими розташований шар теплової ізоляції (мінеральна або шлакова вата) 6.

Усередині корпусу 4 розміщений газований трубний теплообмінник 7, в міжтрубному просторі якого є фазоперехідний ТАМ 8. Для входу та виходу ВГ із теплообмінника є короби 9 і 10 для спрямування газових потоків.

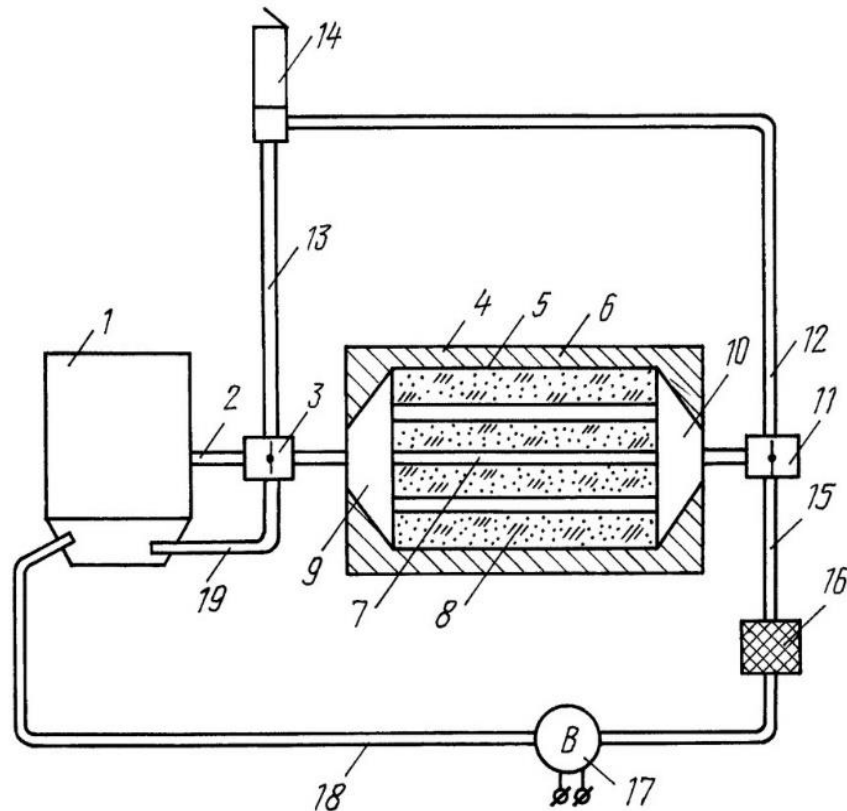


Рисунок 2.6 – Система передпускової теплової підготовки двигуна з тепловим акумулятором фазового переходу, яка акумулює частину теплової енергії відпрацьованих газів [57]

Запірно-регулююча арматура з'єднує трубчатий теплообмінник 7 через багатходові газові крани 3 і 11 з системою випуску ВГ двигуна 1, що складається з газових трубопроводів 12, 13 і випускної труби 14. Для циркуляції теплоносія – повітря є повітряна магістраль, що складається з повітропроводу 15, фільтра 16, відцентрового вентилятора 17, повітропроводів 18 і 19, які підводять і відводять повітря з картерного простору двигуна 1.

Ефективне використання двигуна автомобіля вимагає вирішення задачі, яка пов'язана не тільки з поліпшенням його паливної економічності, але і з підвищенням його екологічної безпеки при експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря. Дана задача, як зазначалося раніше, пов'язана насамперед зі зміною ефективності роботи КН. Вона обумовлена

реальними режимами роботи двигуна автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря, насамперед у режимі прогрівання і складних міських умов, які характеризує не тільки незначне відстань пройденого шляху, але і часті зміни навантажувальних режимів, в результаті чого не забезпечується оптимальний тепловий стан КН для здійснення окиснювально-відновних реакцій.

Аналіз експериментальних даних показав, що найбільш низька ефективність КН має місце у початковий період роботи двигуна в режимі прогрівання. Це пояснюється недостатньою для початку реакції в КН температурою ВГ. Тому виникає завдання зменшити час до початку ефективних окиснювально-відновлювальних реакцій у КН та забезпечити теплову стабілізацію матриці КН в подальшому. Одним з можливих варіантів вирішення цієї задачі є використання ТАФП. Бортовий ТАФП може забезпечити стабілізацію теплових процесів в КН (рис. 2.7) [58].

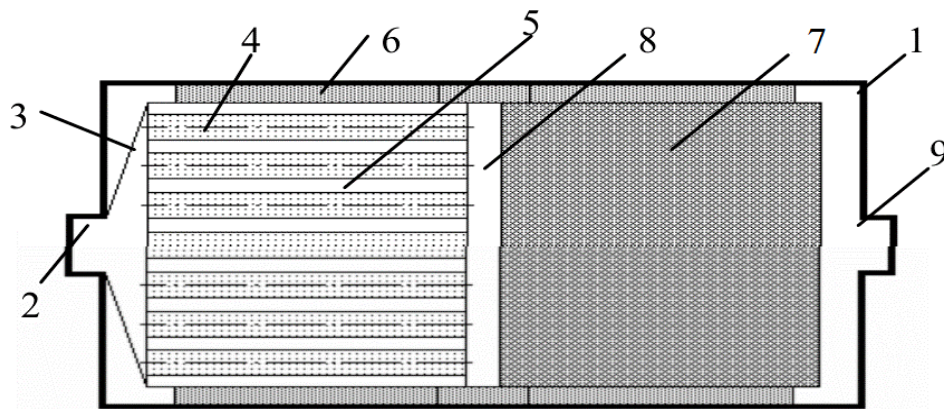


Рисунок 2.7 – Принципова схема КН, поєднаного з ТАФП [58]:

- 1 – циліндричний корпус; 2,9 – вхідний і вихідний патрубки; 3 – дифузор;
4 – циліндричні капсули з ТАМом; 5 – кільцеві зазори; 6 – шар теплової ізоляції; 7 – блочний реактор; 8 – порожнина розширення

ТАФП, поєднаний з КН, складається з двох основних частин: власне КН і ТАФП, об'єднаних в єдиному циліндричному корпусі 1. ТАФП включає в себе вхідний патрубок 2, дифузор 3 і теплообмінник, що складається з центральної капсули, виконаної у вигляді циліндра, і декількох коаксіально

розташованих заповнених ТАМ циліндричних капсул 4 з утворенням між ними кільцевих зазорів 5. Циліндричні капсули 4 і кільцеві зазори 5 мають однакові радіальні розміри (товщину). Між циліндричним корпусом 1 і теплообмінником розміщено шар теплової ізоляції 6. Каталітичний конвертор включає в себе блоковий реактор 7, порожнину розширення 8 і вихідний патрубок 9.

Недоліком систем, в яких як теплоносій для зарядки ТАФП використовують штатну рідину системи охолодження або системи мащення двигуна є обмежена теплоємність ТАФП внаслідок використання низькопотенційного теплоносія. Такий ТА здатний забезпечити невисокі температури для розігрівання двигуна в процесі розрядки ТА (не більше 40...60°C). Для зменшення теплових опорів при передачі теплоти від теплоносія до ТАМ і в зворотному напрямі потрібне використання досить дорогих металів або сплавів з низьким питомим опором. Це вимагає додаткових систем контролю та захисту від корозії, через те, що матеріал капсул (трубок), які контактують з теплоносієм, і корпусом ТАФП мають різні теплофізичні та електрохімічні властивості, що знижує надійність системи в процесі експлуатації.

Крім цього, для зарядки ТАФП, необхідно нагріти додаткову кількість охолодної рідини (а це, не менше 0,5...0,75 штатної заправки системи охолодження) і ТАФП, до повного переходу ТАМ в рідку фазу. Для цього потрібна додаткова витрата палива, в результаті чого, під час зарядження ТАФП, відбувається додаткове забруднення навколишнього середовища ШР.

Дані пристрої являють собою досить складні технічні рішення, які вимагають розміщення на борту автомобіля додаткових резервуарів з охолодною рідиною або оливою. Для забезпечення роботи – додаткової витрати електричної енергії акумуляторної батареї, що в умовах низьких температур навколишнього повітря не завжди можливо, в результаті чого це може призвести до зниження надійності автомобіля в цілому.

2.3 Обґрунтування доцільності використання обраної схеми системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу

Проведений раніше аналіз літературних джерел показав, що труднощі пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря обумовлюються трьома основними причинами: погіршенням випаровування палива, зростанням в'язкості оливи в системі мащення двигуна і зниженням ємності акумуляторної батареї.

Погіршення випаровування палива відбувається внаслідок: низької температури повітря, яке надходить у двигун, що приводить до погіршення сумішоутворення, збільшення втрат паливоповітряної суміші через нещільності в циліндропоршневої групі, інтенсивної тепловіддачі в стінки циліндра.

В працях вітчизняних та зарубіжних вчених, як зазначалося раніше, розроблені і досліджені численні методи і засоби полегшення пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря. Тим не менш, практика експлуатації показує, що багато з них мають суттєві недоліки. Використання цих пристроїв, призводить до невиправданих фінансових витрат, які пов'язані з їх встановленням і обслуговуванням, витратами на паливо для їх роботи, додатковим забрудненням навколишнього середовища ШР, що містяться в продуктах згорання.

Використання цих пристроїв, перед пуском холодного двигуна на думку ряду авторів, приводить до значного зниження зношення деталей двигуна, завдяки його підігріву, а саме - підвищення температури охолодної рідини і оливи в картері двигуна.

Проведений аналіз і узагальнення літературних джерел дозволяють наступним чином оцінити ефективність цих пристроїв.

Порівняльна оцінка зношування двигунів з іскровим запалюванням, зокрема з карбюраторними системами живлення паливом, яка дозволяє

зробити висновки про ефективність і, як наслідок, доцільність застосування додаткових пристроїв, досить повно дана в роботі [59] при проведенні порівняльного дослідження зношення трьох однакових двигунів ЗІЛ-375. Пуск першого двигуна здійснювався із подачею пускової рідини у впускний колектор, другого - з індивідуальним рідинним підігрівником П-100, третього - без засобів полегшення пуску.

На кожному з двигунів було проведено по 100 пусків в холодильній камері при температурі мінус 25°C.

Середні дані про максимальне зношування гільз циліндрів методом вирізаних лунок виявилися досить близькими для всіх трьох двигунів і за абсолютним значенням — досить незначними. Деяке збільшення зношеності двигуна без засобів полегшення пуску пояснюється, на думку авторів, тим, що деякі пуски вдавалися лише з другої чи третьої спроби, в результаті чого незгорілий за невдалі спроби бензин, змивав оливу зі стінок циліндра, що і призводило до підвищеного зношування.

Таким чином, проведений аналіз методів і засобів полегшення пуску холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря показав, що застосування передпускового підігріву двигуна з іскровим запалюванням є малоефективним та вимагає досить тривалого часу розігрівання (залежно від температури навколишнього повітря)

За оцінками дослідників час, який необхідний для розігріву двигуна до температури 55°C рідинним підігрівачем при температурі навколишнього повітря близько мінус 20°C становить 40...45 хв.

За даними джерела [60] підігрівачі з тепловою продуктивністю 16,2 кВт і 22 кВт діяли по 20 хв., в результаті були отримані середні дані за результатами пусків, що характеризують динаміку зміни температури оливи в картері двигуна при температурі навколишнього повітря в межах від мінус 16°C до мінус 30°C (рис. 2.8). Середня витрата палива на розігрів двигуна для підігрівача з тепловою продуктивністю 16,2 кВт склав 2,18 кг/год, а для підігрівача з тепловою продуктивністю 22 кВт – 2,3 кг/год.

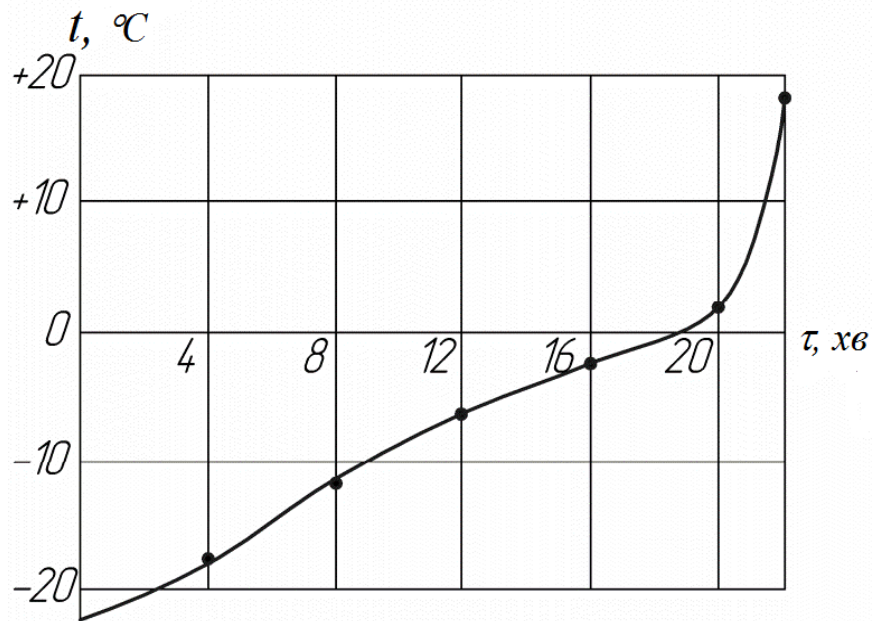


Рисунок 2.8 – Графік зміни температури оливи в картері двигуна при його розігріві підігрівачем [60]

Для визначення перспективних напрямів реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті з метою поліпшення паливної економічності й екологічних показників автомобіля в режимах пуску холодного двигуна з іскровим запалюванням та його прогрівання, на основі аналізу (див. рис. 1.4, рис. 1.5, рис. 1.19) пропонується застосування пристрою, який не потребує додаткового використання будь-якої енергії для забезпечення пуску і прогрівання холодного двигуна та забезпечує поліпшення сумішоутворення в наслідок підвищення температури повітря на впуску.

Авторами, у роботах [37, 44], встановлено, що забезпечення оптимальної температури повітря на впуску у двигун сприяє поліпшенню гомогенності паливоповітряної суміші, що поліпшує протікання робочого процесу і, як наслідок, паливну економічність та екологічні показники двигуна.

Цей пристрій, на відміну від раніше розглянутих, не вимагає використання додаткових джерел енергії, внесення істотних змін у конструкцію силової установки та не погіршує аеродинамічний опір у впускному колекторі.

В якості такого пристрою пропонується застосовувати ТА, який дозволяє

акумулювати та зберігати на досить тривалий час вторинні енергоресурси автомобіля (частину теплової енергії ВГ) у ТАМ на основі фазових переходів типу «плавлення-кристалізація» [4, 31].

Аналіз даних науково-технічної літератури [61, 62] показав, що найбільш потенційно придатним для акумулювання теплової енергії ВГ, є кристалогідрати неорганічних сполук. Вони найбільш повно відповідають вимогам, що висувають до ТАМ. Так, кристалогідрати плавляться при температурах нижче 400...500К, мають високу питому теплоту плавлення близько 400...420 кДж/кг, малотоксичні і відносно дешеві.

Оскільки за температурою плавлення практично всі кристалогідрати придатні для акумулювання теплоти, а стабільність і корозійна активність кристалогідратів можуть бути встановлені тільки в результаті тривалого термоциклування, то як критерії для вибору ТАМ використовують щільність акумульованої енергії і кількість теплової енергії, що припадає на одиницю вартості. При цьому, найбільш перспективними вважають матеріали, які акумулюють не менше 200 МДж на 1 м³.

Експериментальні дані, отримані авторами в роботі [63] про температуру і теплоту плавлення найбільш перспективних кристалогідратів неорганічних сполук, свідчать, що температура плавлення цих кристалогідратів лежить в межах 286...388К, теплота плавлення — 100...300 кДж/кг.

В результаті відбору із дотриманням зазначених вище вимог було визначено найбільш перспективний матеріал, який може бути використаний для акумулювання теплової енергії ВГ, а саме октагідрат гідроксиду барію ($Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$). CAS номер: 12230-71-6.

В таблицях 2.1 та 2.2 наведені наявні в літературі експериментальні дані основних теплофізичних властивостей октагідрата гідроксиду барію.

Ці дані необхідні при розрахунках й експлуатації ТАФП – для визначення робочої температури їх заряджання (розряджання), розрахунку загальної кількості теплоти, яка буде акумульована й оцінки інших теплових і технологічних характеристик ТА.

Таблиця 2.1 – Температура і теплота плавлення

Назва та хімічна формула кристалогідрату	Температура плавлення, $T_{пл}$	Питома теплота плавлення, $\lambda_{пл}$	
	К	кДж/кг	МДж/м ³
Октагідрат гідроксиду барію, $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	351,2	267	582

Таблиця 2.2. – Щільність, теплоємність і теплопровідність

Назва та хімічна формула кристалогідрату	Щільність, 10^3 , кг/м ³		Теплоємність, c_p , кДж/(кг•К)		Теплопровідність, λ , Вт/(м•К)	
	тверда фаза	рідка фаза	тверда фаза	рідка фаза	тверда фаза	рідка фаза
Октагідрат гідроксиду барію, $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	2,18	2,06	1,172	2,177	1,25	0,65

Для забезпечення полегшення пуску та прискорення прогрівання холодного двигуна з іскровим запалюванням, в роботі запропонована система підігріву повітря на впуску з ТАФП (рис. 2.9). Пропонований ТА дозволяє акумулювати та зберігати частину теплової енергії ВГ, з подальшим забезпеченням оптимальної температури повітря на впуску, що надходить у двигун з навколишнього середовища.

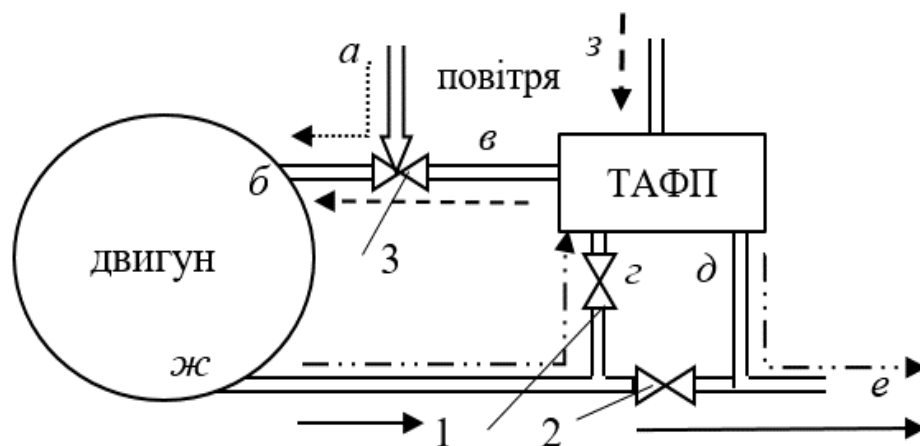


Рисунок 2.9 – Схема функціонування система підігріву повітря на впуску з ТАПФ:

1, 2 – крани прохідні запірні, 3 – пристрій автоматичного регулювання температури повітря на впуску (кран триходовий)

Режими функціонування системи підігріву повітря на впуску з ТАПФ:

- режим роботи двигуна зі штатною системою впуску повітря ($a - b$) та випуску відпрацьованих газів ($ж - e$) - кран 2 відкритий, крани 1, 3 закриті;
- ...→ режим зарядки ТАФП - повітря ($a - b$), відпрацьовані гази ($ж - z - d - e$), кран 1 відкритий, кран 2 закритий (відпрацьовані гази при роботі двигуна проходять через ТАФП);
- режими пуску та прогрівання холодного двигуна – повітря ($z - v - b$), відпрацьовані гази ($ж - e$), кран 1 закритий, кран 2 відкритий (холодне повітря з навколишнього середовища через ТАФП потрапляє у впускний колектор двигуна).

За результатами проведених досліджень на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету за участю працівників Інституту Газу НАН України виготовлений двоходовий ТАФП кожухотрубчатого типу, що пояснюється простотою конструкції і надійністю (рис. 2.10) [47].

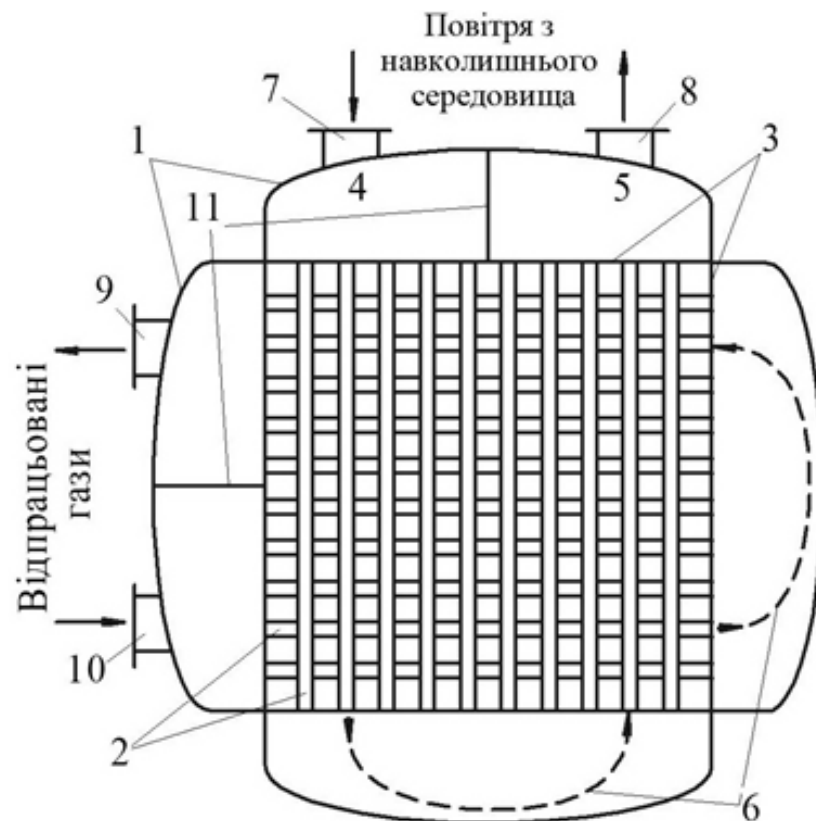


Рисунок 2.10 – Принципова схема кожухотрубчатого двоходового теплообмінного апарату:

1 – кожух; 2 – трубки; 3 - трубні решітки; 4 – вхідна розподільна камера; 5 -

вихідна камера; 6 – поворотна камера; 7,8,9,10 – патрубки для входу і виходу теплоносіїв; 11 – перегородка

Виготовлений двоходовий ТАФП кожухотрубчатого типу є теплообмінник з коробчастим кожухом, який складається з корпусу з шаром теплової ізоляції, двох газових пучків трубок (теплообмінників), змонтованих на трубних дошках, між якими розміщено фазоперехідний ТАМ, в якому відбувається зворотний фазовий перехід «плавлення – кристалізація». ТАМ є октагідрат гідроксиду барію, $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, температура плавлення 351,2К. ТАМ забезпечує як накопичення теплоти завдяки проходженню крізь нього по пучках трубок потоку ВГ, так і для віддавання теплоти в результаті організації вимушеного руху по пучкам трубок повітря з навколишнього середовища.

Один теплоносій надходить патрубком 7 (повітря з навколишнього середовища) і виходить патрубком 8, протікає трубками 2 через поворотну камеру 6, інший теплоносій (ВГ), входить патрубком 10 і виходить патрубком 9, протікає трубками 2 через поворотну камеру 6.

2.4 Методика теплотехнічного розрахунку теплового акумулятора фазового переходу для системи підігріву повітря на впуску

У висновках першого розділу зазначено, що на даний час остаточної практичної методики для теплового розрахунку та розрахунку конструкцій ТАФП не запропоновано.

Метою розрахунків є визначення параметрів теплоносіїв, необхідної кількості теплової енергії, яку треба запасти (теплової ємності ТА), визначення необхідної кількості вибраного ТАМ, розрахунок габаритних розмірів ТАФП, площі поверхні теплообміну (внутрішньої та зовнішній), вибір марки і необхідної товщини шару теплоізоляційного матеріалу.

В даній роботі розглядається кожухотрубчатий ТАФП, що зумовлено

простотою конструкції і надійністю. Міжтрубчатий простір ТАФП заповнений ТАМ – октагидратом гідроксиду барію, підведення і відведення теплоти до і від якого, забезпечують теплоносії через поверхні теплообміну.

Теплотехнічний розрахунок теплового акумулятора пропонується виконувати в послідовності, яка наведена на рисунку 2.11.

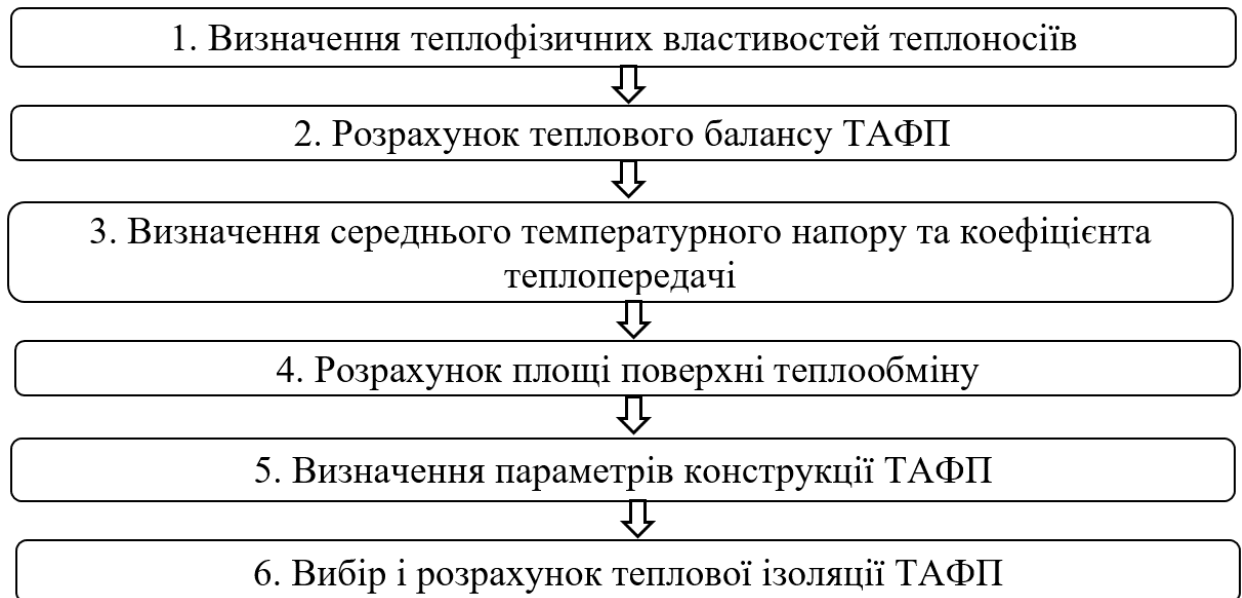


Рисунок 2.11 – Структурна схема методики теплотехнічного розрахунку ТАФП

1. Визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв.

При проведенні розрахунків теплофізичних властивостей теплоносіїв зручніше використовувати наближені формули [64, 65] (табл. 2.3) для визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв.

2. Розрахунок теплового балансу ТАФП.

Теплову потужність теплообмінного апарата або кількість теплоти, переданої від гарячого теплоносія до холодного в одиницю часу, можна визначити за рівнянням теплового балансу.

Таблиця 2.3 – Теплофізичні властивості теплоносіїв

Теплофізичні властивості теплоносіїв	Одиниця виміру	Наближені формули
Температура	K	T_0
Тиск	$Па$	p_0
Густина	$кг/м^3$	$\rho_{air}(T) := \frac{p_{air}}{287.4 \cdot T}$
Питома Теплоємність	$Дж/(кг \cdot K)$	$C_{p,air}(T) := [1.0005 + 1.1904 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 273)] \cdot 10^3$
Теплопровідність	$Вт/(м \cdot K)$	$\lambda_{air}(T) := 2.44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0.82}$
Коефіцієнт динамічної в'язкості	$Па \cdot с$	$\mu_{air}(T) := 1.717 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0.683}$
Коефіцієнт кінематичної в'язкості	$м^2/с$	$\nu_{air}(T) := \frac{\mu_{air}(T)}{\rho_{air}(T)}$
Коефіцієнт температуропровідності	$м^2/с$	$a_{air}(T) := \frac{\lambda_{air}(T)}{C_{p,air}(T) \cdot \rho_{air}(T) \cdot 1000}$
Число Прандтля	-	$Pr_{air}(T) := \frac{\nu_{air}(T)}{a_{air}(T)}$

В загальному вигляді рівняння теплового балансу має вигляд:

$$Q_{ТАФП} = Q_p + Q_{fn} + Q_m + Q_{\text{м}} - Q_{\text{вт}}, \quad (2.1)$$

де $Q_{ТАФП}$ – теплова потужність теплового акумулятора фазового переходу, Дж/с;

Q_m – кількість теплоти, яка накопичується при нагріванні твердої фази ТАМ, Дж/с;

Q_{fn} – кількість теплоти, яка накопичується в ТАМ при зміні його агрегатного стану (плавленні), Дж/с;

Q_p – кількість теплоти, яка накопичується при нагріванні рідкої фази ТАМ, Дж/с;

$Q_{\text{м}}$ – кількість теплоти, яка накопичується при нагріванні металевих корпусу ТАФП, Дж/с;

$Q_{\text{вт}}$ – втрати теплоти в результаті розсіювання в навколишньому

середовищі, Дж/с.

Необхідну теплову потужність ТА розраховували за формулою:

$$Q_{TA} = G \cdot \Delta h, \quad (2.2)$$

де G – витрата теплоносія, кг/с;

Δh – зміна питомої ентальпії, Дж/кг.

Зміна питомої ентальпії:

а) для однофазних теплоносіїв

$$\Delta h = c_p \cdot \Delta t, \quad (2.3)$$

б) при фазовому переході

$$\Delta h = r, \quad (2.4)$$

де c_p – питома ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К);

Δt – зміна температури однофазного теплоносія;

r – прихована теплота фазового переходу.

Таким чином, залежно від фазового стану гарячого і холодного теплоносіїв можливі наступні варіанти запису рівняння теплового балансу:

– для однофазних теплоносіїв:

$$Q = G_{нов} \cdot c_{рнов} \cdot (t'_{нов} - t''_{нов}) \quad (2.5)$$

– при зміні агрегатного стану теплоносія:

$$Q = G_{ТАМ} \cdot r_{ТАМ} \quad (2.6)$$

3. Визначення середнього температурного напору та коефіцієнта теплопередачі.

Середній температурний напір (середню різницю температур) розраховували за формулами:

$$\Delta t = \Delta t_a = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}, \quad (2.7)$$

якщо $\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min} \leq 2$

$$\Delta t = \Delta t_{\text{л}} = \frac{\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}}{\ln(\Delta t_{\text{max}} / \Delta t_{\text{min}})}, \quad (2.8)$$

якщо $\Delta t_{\text{max}} / \Delta t_{\text{min}} > 2$

де Δt_{max} і Δt_{min} – максимальна і мінімальна різниці температур теплоносіїв, °С;

Δt_a – середньоарифметична різниця температур, °С;

$\Delta t_{\text{л}}$ – середньологарифмічна різниця температур, °С

Коефіцієнт теплопередачі тонкостінних труб, для яких виконується умова $d_{\text{зов}}/d_{\text{вн}} < 2$ де, $d_{\text{зов}}$ – зовнішній діаметр трубки, $d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр трубки, розраховували за виразом теплопередачі через плоску стінку.

У цьому випадку похибка розрахунку не перевищуватиме 4 %.

Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку пов'язаний з коефіцієнтами тепловіддачі виразом:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.9)$$

де δ – товщина матеріалу трубки, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубки, Вт/(м·К);

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, що нагріває (ТАМ) до зовнішньої поверхні трубки, Вт/(м²·К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні трубки до теплоносія, що нагрівається (поток повітря з навколишнього середовища), Вт/(м²·К).

Коефіцієнти тепловіддачі змінюються в широких межах залежно від агрегатного стану, швидкості потоку теплоносія, виду його течії, геометрії та якості обробки теплообмінної поверхні, що розділяє теплоносії та ін. Цю величину досить складно визначити за допомогою математичних залежностей. Науковці стверджують [66], що зазвичай коефіцієнт

тепловіддачі визначається на основі експериментальних досліджень.

4. Розрахунок площі поверхні теплообміну.

Рівняння теплопередачі в тепловому акумуляторі має вигляд:

$$Q = k \cdot F_{\text{вн}} \cdot \Delta t, \quad (2.10)$$

де Q – теплова потужність теплового акумулятора, Вт;

k – середній коефіцієнт теплопередачі через стінку, що розділяє теплоносії, Вт/(м² · К);

Δt – середня різниця температур (середній температурний напір), °С;

$F_{\text{вн}}$ – площа поверхні теплообміну внутрішня, м².

Рівняння (2.11) застосовується для розрахунку необхідної площі поверхні теплопередачі при відомих значеннях теплового навантаження теплообмінного апарату Q , середньої різниці температур теплоносіїв Δt і коефіцієнта теплопередачі k :

$$F_{\text{вн}} = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} \quad (2.11)$$

Виходячи з отриманої площі поверхні теплообміну та характеристик трубки: зовнішній діаметр $d_{\text{зов}}$, товщина стінки трубки δ і внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}}$, визначили загальну довжину теплообмінної трубки $L_{\text{тр}}$:

$$L_{\text{тр}} = F_{\text{вн}} / \pi d_{\text{вн}} \quad (2.12)$$

Далі, визначили загальне число трубок для теплообміну, виходячи з прийнятої до розрахунку ТА одиничної довжини труби $l_{\text{тр}}$.

$$n = \frac{F_{\text{вн}}}{\pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot l_{\text{тр}}} \quad (2.13)$$

Площу поперечного перерізу трубки розраховували за формулою:

$$f = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot n \quad (2.14)$$

5. Визначення параметрів конструкції ТАФП.

Матеріали для виготовлення ТАФП вибирали за робочих умов в акумуляторі: температури, тиску, хімічних властивостей теплоносіїв і ТАМ та ін.

Трубчаті решітки виготовляють зазвичай цільними, вирізкою з листа плити. Для надійного кріплення трубок в трубній решіці її товщину $s_{p(min)}$ (в мм) визначають:

$$s_{p(min)} = \frac{d_{зовн}}{8} + c, \quad (2.15)$$

де c – припуск для сталевих трубчатих решіток, мм, $c = 5$ мм;

$d_{зовн}$ – зовнішній діаметр теплообмінних трубок, мм.

Крок розміщення трубок вибирають із співвідношення $s = (1,3 \div 1,5) \cdot d_{зовн}$.

6. Вибір і розрахунок теплової ізоляції ТАФП.

Метою вибору і розрахунку теплової ізоляції є визначення необхідної товщини теплоізоляційного шару матеріалу, що покриває зовнішню поверхню ТА з метою зменшення теплових втрат при міжмінному утриманні автомобіля і забезпечення вимог охорони праці при технічному обслуговуванні автомобіля. Температура поверхні шару ізоляції не повинна перевищувати 45°C [67].

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару δ_{i3} матеріалу проводили за спрощеною схемою, використовуючи наступне рівняння:

$$\delta_{i3} = \frac{\lambda_{i3} (t_{cm} - t_{i3})}{\alpha_{i3} (t_{i3} - t_{nn})}, \quad (2.16)$$

де α_{i3} – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище, Вт/м²К;

λ_{i3} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції, Вт/мК,

t_{cm} , t_{nn} , t_{i3} – відповідно температури зовнішньої стінки апарату, навколишнього повітря, зовнішньої поверхні теплоізоляційного матеріалу, °С.

Коефіцієнт тепловіддачі, який визначає сумарну швидкість перенесення теплоти конвекцією і тепловим випромінюванням для ТА, що перебувають при температурі до 150°C можна розрахувати за наближеним рівнянням [68, 69]:

$$\alpha_{i3} = 5,74 + 0,07\Delta t \quad (2.17)$$

Теплопровідність сучасних теплоізоляційних матеріалів складає в середньому 0,035...0,05 Вт/м·К.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Застосування передпускового підігріву двигуна та застосування додаткових пристроїв для полегшення пуску холодного двигуна, практично не впливає на зношування деталей двигуна, вимагає додаткової витрати палива та призводить до додаткових викидів ШР, тому є малоефективним.

2. Перспективним напрямом реалізації енергоефективних технологій на автомобільному транспорті є створення пристрою, який здатен утилізувати та акумулювати надлишкову теплову енергію охолодної рідини і/або ВГ з метою подальшого її використання для поліпшення паливоекономічних й екологічних показників автомобіля.

3. Теоретично обґрунтований вибір кристалогідратів неорганічних сполук у якості ТАМ. Запропоновано використання октагідрата гідроксиду барію ($\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) з температурою плавлення 351,2 К.

4. Для вирішення задачі із забезпеченням пуску холодного двигуна та прискореного його прогрівання завдяки поліпшенню сумішоутворення, що сприятливо позначається на протіканні робочого процесу, запропонована система підігріву повітря на впуску з ТАФП, яка здатна акумулювати частину теплової енергії ВГ.

5. Запропоновано варіант спрощеної методики теплотехнічного розрахунку кожухотрубчатого двоходового ТА з фазоперехідним ТАМ.

РОЗДІЛ 3

УТОЧНЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА РЕЖИМАМИ ЄВРОПЕЙСЬКОГО МІСЬКОГО ЇЗДОВОГО ЦИКЛУ З ВРАХУВАННЯМ ПРОГРІВУ ДВИГУНА РІЗНИМИ МЕТОДАМИ

3.1 Особливості математичної моделі для дослідження енергетичних і екологічних показників роботи автомобіля

Математичне моделювання є одним з основних сучасних методів дослідження впливу різних факторів на показники роботи автомобіля в процесі його експлуатації. Зазвичай воно передбачає створення концептуальної моделі об'єкта дослідження, її формалізацію та перетворення у математичну модель, перевірку адекватності й подальше дослідження отриманої моделі за допомогою аналітичних або чисельних методів і сучасних інформаційних технологій [70–72]. Застосування методів математичного моделювання часто надає можливість отримати більш точні показники роботи автомобіля, який досліджують, значно зменшує при цьому витрату часу та собівартість досліджень. Тому поряд з розвитком експериментальних методів дослідження динамічних процесів автомобіля, важливо створювати та удосконалювати й ефективні розрахункові математичні моделі.

Моделювання – це заміщення одного об'єкта дослідження (реального) іншим (моделлю) з метою отримати інформацію про найважливіші властивості об'єкта дослідження здійсненням експериментів з його моделлю [70–72]. Слід зазначити, що неповнота моделі об'єкта дослідження не є недоліком, оскільки немає сенсу створювати модель, яка є точним відображенням реального об'єкта. Важливо, щоб математична модель реального об'єкта дослідження досить повно відтворювала лише ті його показники, які досліджують, і ті його складові, зв'язки та зовнішні впливи, які можуть досить суттєво впливати на ці показники.

Адекватність математичної моделі характеризує можливість реалізації цілей моделювання. Використання регресійних моделей дає змогу прогнозувати поведінку об'єкта дослідження у певному діапазоні зміни вхідних параметрів.

Існує низка причин, які потребують не тільки можливості, а й необхідності дослідження математичних моделей замість реальних об'єктів [70,72].

По-перше, на реальні об'єкти зазвичай впливає досить велика кількість різноманітних факторів, як внутрішніх так і зовнішніх, що ускладнює отримання будь-яких адекватних висновків за результатами їх натурних досліджень. У зв'язку з цим виникає необхідність спрощення їх за допомогою математичної моделі, яка дозволяє ігнорувати вплив на реальний об'єкт частини факторів, які є несуттєвими з точки зору досягнення мети дослідження.

По-друге, у багатьох випадках метою дослідження реального об'єкта є прогнозування його поведінки в умовах зміни незначної кількості факторів, які впливають на об'єкт дослідження. У більшості випадків це неможливо без створення його математичної моделі.

По-третє, у деяких випадках дослідження реальних об'єктів пов'язане зі значними матеріальними витратами, потребує досить тривалого часу, характеризується складністю забезпечення умов експерименту та ін.

Серед економічних складових роботи автомобіля вартість палива за різними джерелами може становити 30...60% всіх витрат на його експлуатацію і ці витрати продовжують зростати [73,74]. У зв'язку з цим, прогнозування витрати палива в умовах експлуатації є досить важливою та актуальною задачею.

Паливна економічність – це сукупність властивостей, що визначають витрати палива при виконанні автомобілем транспортної роботи в різних умовах експлуатації [75]. Складність оцінювання паливної економічності та екологічних показників автомобіля аналітичними методами при русі в

реальних дорожніх умовах, особливо в умовах низьких температур навколишнього повітря, визначає багатофакторність впливу на показники роботи двигуна природно-кліматичних і дорожніх умов, конструктивних параметрів автомобіля та ін. [76].

Переважає кількість легкових автомобілів експлуатується в міських умовах. Крім того, їх більшість у міжзмінний період зберігається на відкритих стоянках, що в умовах низьких температур навколишнього повітря створює додаткові труднощі, які пов'язані з необхідністю теплової підготовки двигуна і систем, які забезпечують його роботу до прийняття навантаження. Для підвищення ефективності використання автомобілів в цих умовах необхідно прогнозувати значення показників їх експлуатаційних властивостей і, насамперед, додаткової витрати палива на забезпечення теплового режиму двигуна з урахуванням природно-кліматичних факторів.

3.2. Аналіз сучасних їзових циклів та можливість застосування спрощеного їзового циклу для дослідження впливу різних методів прогріву двигуна

Досить об'єктивні експлуатаційні показники роботи автомобіля можна отримати шляхом вимірів їх при русі за їзовими циклами. Міські їзові цикли широко використовують для оцінювання паливної економічності та екологічних показників роботи автомобілів в умовах, наближених до їх реальної експлуатації у місті.

Міжнародні екологічні стандарти для автотранспорту, основними з яких для країн Європи є Правила Європейської економічної комісії ООН (ЄЕК ООН) №83 (Викиди забруднювальних речовин колісними транспортними засобами) та №101 (Викиди двооксиду вуглецю та витрата палива колісними транспортними засобами), періодично підвищують нормативні вимоги щодо паливної економічності та емісії ШР для транспортних засобів, враховуючи природно-кліматичні особливості

регіональних умов експлуатації.

Аналіз експлуатації автомобіля в міських умовах показав, що значний вплив на сумарні масові викиди ШР чинить робота двигуна в режимі прогрівання після пуску холодного двигуна. Прийнятий раніше в Правилах ЄЕК ООН №83 (поправки 02 та 03) міський їздовий цикл автомобілів масою до 3,5т передбачав перед початком випробовування прогрівання двигуна протягом 40 секунд після пуску холодного двигуна. Випробування проводили в приміщенні при витримуванні автомобіля протягом не менше 8 годин і стабілізації його теплового стану в інтервалі температур 20...30°C.

Однак, така методика випробування не повною мірою відображала реальні умови експлуатації автомобільного транспорту у деяких країнах Європи, де середня температура в зимовий період (1...9 місяців на рік) може становити 0°C і нижче [77,78]. Дані умови експлуатації автомобіля збільшують викиди продуктів неповного згорання у 1,5...2 рази, причому, більша частина шкідливих викидів з ВГ припадає на роботу двигуна в режимах пуску та прогрівання [79]. У зв'язку з цим, в Правила ЄЕК ООН №83 (поправка 04), внесена зміна в методику проведення випробовування у міському їздовому циклу (виключена сорокасекундна фаза попереднього прогріву двигуна). Проте, і ця методика випробування не відтворює в повній мірі низькотемпературні умови експлуатації автомобіля.

В подальшій зміні Правил ЄЕК ООН №83 (поправка 05) введено додаткове випробовування охолодженого до мінус 7°C автомобіля в першій фазі міського їздового циклу і введені окремі норми на викиди продуктів неповного згорання за цю фазу випробування. Така зміна методики випробувань з одночасним посиленням нормованих шкідливих викидів більш реально відтворює низькотемпературні умови експлуатації автомобіля.

Зменшення норм шкідливих викидів в нових поправках до Правил ЄЕК ООН №83 вимагають від автовиробників введення в конструкцію силової установки нових технічних рішень, які призначені, перш за все, для забезпечення ефективної роботи системи нейтралізації ШР ВГ в режимі

прогрівання холодного двигуна в умовах низьких температур навколишнього повітря.

У зв'язку з цим, дослідження, які направлені на розробку та вдосконалення математичних моделей їздового циклу для визначення показників роботи автомобіля, а також вдосконалення методик прогнозування витрат палива автомобілями в міських умовах, що враховують низькотемпературні умови експлуатації, є актуальною задачею підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту.

Для визначення експлуатаційних показників роботи легкового автомобіля, зокрема, визначення витрати палива і рівня емісії ШР з ВГ, можна використовувати різні методики [80–83]. В якості таких методик зазвичай виступають випробувальні їздові цикли [86–89]. Випробувальний їздовий цикл являє собою набір параметрів і послідовностей, за допомогою яких наближено описується рух середньостатистичного автомобіля в реальних умовах. В залежності від середньої швидкості руху прийнято розділяти цикли на міські та заміські. За територіальною ознакою їх умовно можна розділити на європейський, американський і японський.

Відомі математичні моделі для розрахунків показників автомобіля в русі за режимами різних їздових циклів [84–87]. Для легкових автомобілів найбільш широко використовують математичні моделі для визначення показників роботи автомобіля в русі за режимами Європейського їздового циклу NEDC (New European Driving Cycle) – Європейська методика проведення ходових випробувань для оцінки витрати палива автомобілів повною масою до 3500 кг, а також для визначення кількісних значень викидів ШР та двооксиду вуглецю з ВГ (рис.3.1) згідно Правил ЄЕК ООН №83 [90].

Їздовий цикл це сукупність регламентованих режимів рухів автотранспортного засобу. Режими руху визначаються головним чином швидкістю і її зміною за етапами їздового циклу: розгін, рух зі сталою швидкістю, сповільнення, гальмування, зупинка, відновлення руху. За певних умов можна прийняти, що швидкісні режими руху автомобіля у різних

умовах експлуатації є поєднанням режимів розгону, руху зі сталою швидкістю і сповільнення.

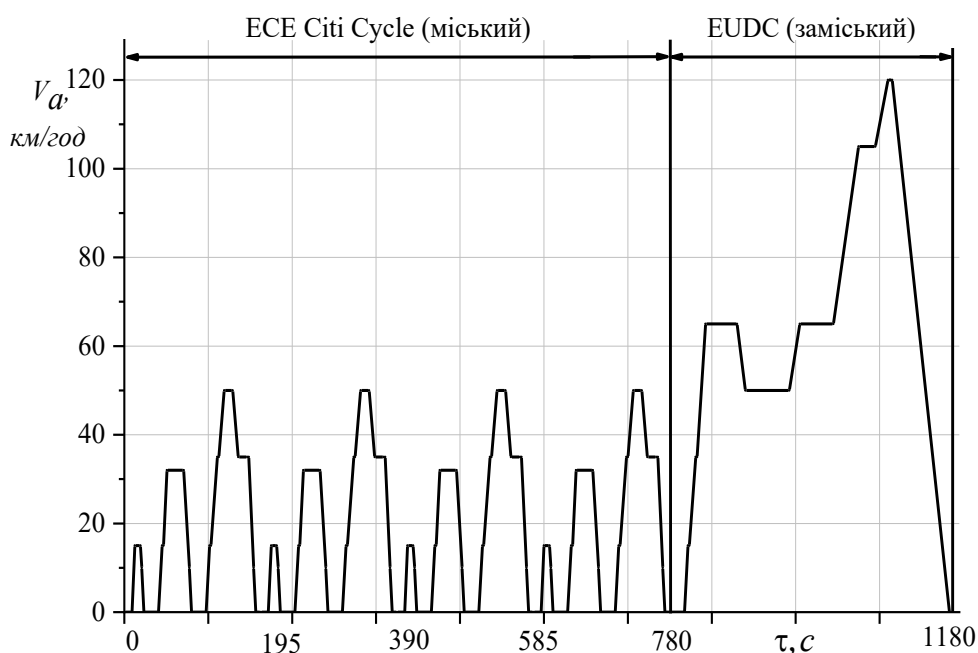


Рисунок 3.1 – Європейський їздовий цикл NEDC для оцінки дослідження зміни емісії ШР з ВГ

Загальна тривалість міського (ECE) та заміського (EUDC) їздових циклів — 1180 секунд (переглянутий MVEG-B). Пробіг автомобіля під час випробувань 11,007 км. Середня швидкість під час випробувань 33,6 км/год. Максимальна швидкість 120 км/год.

Регламентований їздовий цикл досить складний для відтворення в математичній моделі. А зважаючи на те, що зміни показників переважно відбуватимуться в режимі прогрівання і дещо впливатимуть впродовж усього циклу, є доцільним спростити випробувальний цикл, з подальшою перевіркою достовірності отриманих результатів.

Фрагмент і операційна карта міського їздового циклу наведено на рис. 3.2 і в табл. 3.1.

Розрахунки за математичними моделями проводять для прогрітого двигуна. В цих моделях для підвищення точності розрахунків враховують процеси, які займають незначний час і не регламентовані картою їздового циклу.

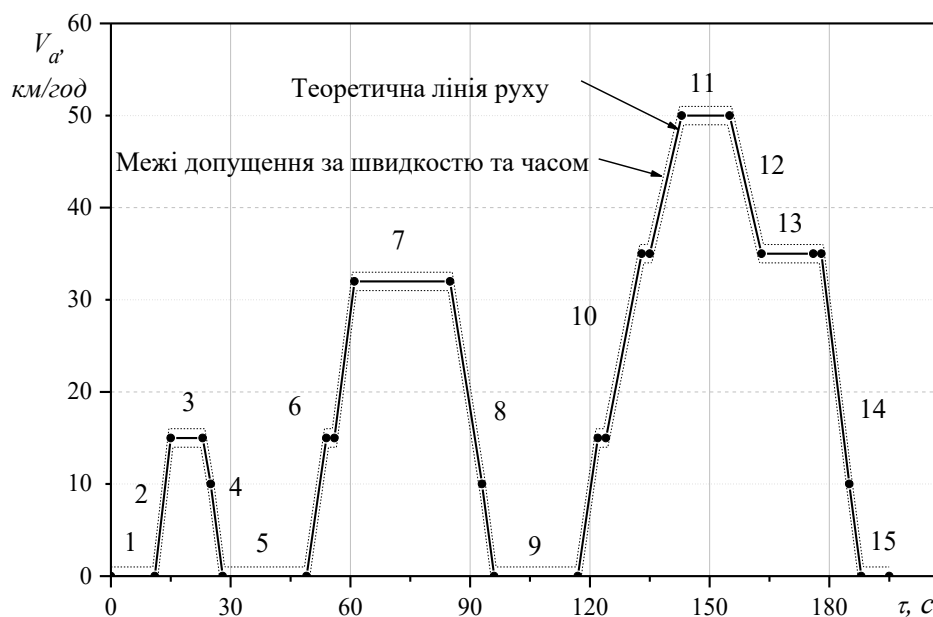


Рисунок 3.2 – Фрагмент Європейського міського їздового циклу

В даному дослідженні вирішується задача з визначення та порівняння відносної зміни витрати палива і емісії шкідливих викидів за використання системи підігріву повітря на впуску з ТАФП і без неї. Це дозволяє виключати з математичної моделі супутні режими (прискорення двигуна перед виключенням зчеплення, рух автомобіля з пробуксовуючим зчепленням, режими сповільнення з різною інтенсивністю та інші), залишивши ті режими, які зазначені в карті їздового циклу.

Таблиця 3.1 – Операційна карта проведення випробувань за Європейським міським їздовим циклом

Тип операції	Простий міський		Тривалість		Загальний час
	Номер режиму	Швидкість, км/год	Операції	режиму	
			Секунд	секунд	
1	2	3	4	5	6
Холостий хід	1	0	11	11	11
Прискорення	2	0 – 15	4	4	15
Рух зі сталою швидкістю	3	15	8	8	23
Сповільнення	4	15 – 0	5	5	28
Холостий хід	5	0	21	21	49

Продовж. табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
Прискорення	6	0 – 15	6	12	55
Прискорення		15 – 32	6		61
Рух зі сталою швидкістю	7	32	24	24	85
Сповільнення	8	32 – 0	11	11	96
Холостий хід	9	0	21	21	117
Прискорення	10	0 – 15	6	26	123
Прискорення		15 – 35	11		134
Прискорення		35 – 50	9		143
Рух зі сталою швидкістю	11	50	12	12	155
Сповільнення	12	50 – 35	8	8	163
Рух зі сталою швидкістю	13	35	15	15	178
Сповільнення	14	35 – 0	10	10	188
Холостий хід	15	0	7	7	195

Опис і характеристика Європейського міського їздового циклу наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Характеристики Європейського міського їздового циклу

Теоретичне відстань, м	1013	
Час роботи двигуна, секунд	195	
Середня швидкість, км/год	18,77	
Загальна тривалість операцій	Час, секунд	Відсотки
Холостий хід	60	30,77
Прискорення	42	21,54
Рух зі сталою швидкістю	59	30,26
Сповільнення	34	17,44
Всього	195	100,00

Прийняті спрощення дозволяють розглядати в Європейському міському їздовому циклі (рис. 3.3) наступні режими:

1. Режими мінімальної частоти обертання холостого ходу.
2. Режими прискорення автомобіля на різних передачах.
3. Режими руху з сталою швидкістю на різних передачах.
4. Режими сповільнення.

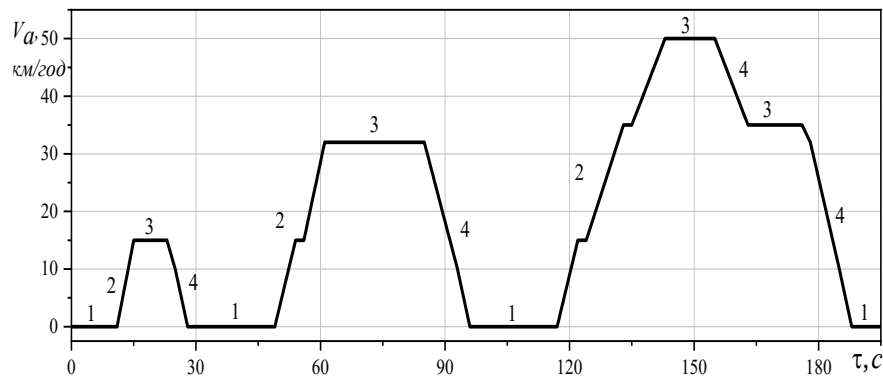


Рисунок 3.3 – Фрагмент Європейського міського їздового циклу з прийнятими в розрахунках режимами

3.3 Рівняння математичної моделі для розрахунку параметрів паливної економічності і екологічних показників двигуна в різних режимах

Для опису закономірностей руху автомобіля у вибраних режимах, визначення паливної економічності і екологічних показників використовували наступні залежності:

1. Режим мінімальної частоти обертання холостого ходу.

В цьому режимі показники роботи двигуна визначали за експериментальними даними з врахуванням температури оливи в системі мащення двигуна.

Годинні витрати палива і повітря та концентрації ШР у ВГ в режимах холостого ходу, описували поліноміальними залежностями від частоти обертання двигуна n_d :

$$G_i = a_0 + a_1 n_d + a_2 n_d^2 \quad (3.1)$$

2. Режими прискорення автомобіля на різних передачах.

Розганяння автомобіля описували рівнянням:

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{1}{\delta(m_0 + m_e)} \left[\frac{M_K \cdot U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}{r_K} - P_f \pm P_i - P_w \right], \quad (3.2)$$

де V_a – швидкість автомобіля, м/с;

t – час, с;

δ – коефіцієнт врахування мас автомобіля, що обертаються;

m_0 – власна маса автомобіля, кг;

m_B – маса вантажу, кг;

M_K – крутний момент двигуна, що визначається положенням важеля паливоподачі φ_e або розрідженням за дросельною заслінкою Δp_K і частотою обертання n_d , Н·м;

P_f – сила опору дороги, Н;

P_i – сила опору підйому, Н;

P_w – сила опору повітря, Н;

r_K – радіус кочення колеса, м;

U_i – передаточне число коробки передач;

U_p – передаточне число головної передачі;

η_T – к.к.д. трансмісії.

Коефіцієнт врахування мас автомобіля, що обертаються визначали за залежністю:

$$\delta = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n I_{ki} + I_d \cdot U_i^2 \cdot U_p^2 \cdot \eta_T}{(m_0 + m_B) \cdot r_K^2}, \quad (3.3)$$

де $\sum_{i=1}^n I_{ki}$ – сумарний момент інерції коліс автомобіля;

I_d – момент інерції мас двигуна, що обертаються, кг·м².

Сили, що входять у вираз (3.2) визначали за залежностями:

$$P_f = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha, \quad (3.4)$$

$$P_i = (m_0 + m_B) \cdot g \cdot f \cdot \sin \alpha, \quad (3.5)$$

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2, \quad (3.6)$$

де f – коефіцієнт опору коченню, Н/кг;

α – кут підйому (спуску) дороги, град;

$k \cdot F$ – фактор опору повітря, Н·с²/м².

Використовуючи рівняння (3.2) на кожній елементарній ділянці розганяння та кожній передачі в коробці передач визначали необхідний крутний момент для руху автомобіля з прискоренням згідно карти їздового циклу.

$$M_{\kappa} = I_{\partial} \cdot \frac{dn_{\partial}}{dt} \cdot \frac{\pi}{30} + I_{зч} \cdot \frac{dn_{\partial}}{dt} \cdot \frac{\pi}{30} + M_{оп}, \quad (3.7)$$

де $\frac{dn_{\partial}}{dt}$ – прискорення колінчастого вала двигуна, $\text{хв}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$;

$I_{зч}$ – момент інерції мас автомобіля, які обертаються, зведений до зчеплення, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$$I_{зч} = \frac{(m_0 + m_{\epsilon}) \cdot r_k^2}{U_i^2 \cdot U_p^2} + \sum_{i=1}^n \frac{I_{Ki}}{U_i^2 \cdot U_p^2}, \quad (3.8)$$

де I_{Ki} – момент інерції i -го колеса автомобіля, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

$M_{оп}$ – момент опору руху автомобіля, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

$$M_{оп} = \frac{(m_0 + m_{\epsilon}) \cdot (f_0 \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot r_k \cdot g}{U_i \cdot U_p \cdot \eta_T}, \quad (3.9)$$

де $g = 9,81$ — прискорення земного тяжіння м/с^2 ;

Як встановлено в численних експериментальних дослідженнях, в тому числі [84–87] крутний момент бензинового двигуна задовільно описує лінійна залежність від розрідження за дросельною заслінкою:

$$M_{\kappa} = b_0 + b_1 \cdot \Delta p_{\kappa}, \quad (3.10)$$

де, b_0 і b_1 – дослідні коефіцієнти;

Δp_{κ} – розрідження у впускному колекторі.

Використовуючи отримані під час стендових випробовувань експериментальні дані визначали необхідне розрідження для отримання потрібного крутного моменту.

Частоту обертання колінчастого вала двигуна в процесі розганяння розраховували за залежністю:

$$n_{\partial} = \frac{V_a \cdot U_i \cdot U_P}{\pi \cdot r_k} \cdot 30, \quad (3.11)$$

За використанням значення M_k і швидкості руху автомобіля визначали необхідні розрідження у впускному колекторі Δp_k і частоту обертання n_{∂} , за допомогою яких в режимі прискорення на кожній елементарній ділянці.

Ці показники описували поліноміальними залежностями другого ступеня:

$$G_i = c_0 + c_1 \Delta p_k + c_2 n_{\partial} + c_{11} \Delta p_k^2 + c_{22} n_{\partial}^2 + c_{12} \Delta p_k n_{\partial}, \quad (3.12)$$

За визначеними показниками роботи двигуна в цьому режимі та з використанням результатів експериментальних досліджень на гальмівному стенді визначали паливну економічність та концентрації ШР у ВГ двигуна.

3. Режими руху зі сталою швидкістю на різних передачах.

Показники роботи двигуна в русі автомобіля зі сталою швидкістю на різних передачах розраховували за залежностями.

Необхідний крутний момент двигуна визначали за залежністю:

$$M_k = \frac{\left[(m_0 + m_{\epsilon}) \cdot f_0 \cdot \cos \alpha + kF \cdot V_a^2 \right] \cdot r_k}{U_i \cdot U_P \cdot \eta_T} \quad (3.13)$$

За отриманими значеннями M_k за залежністю (3.10) визначали Δp_k .

Частоту обертання вала двигуна визначали за залежністю (3.11).

Годинні витрати бензину і повітря, концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна визначали за залежністю (3.12)

4. Режими сповільнення.

В процесі сповільнення показники роботи двигуна розраховували наступним чином: якщо двигун з системою впорскування бензину або з карбюратором з економайзером примусового холостого ходу (ПХХ) витрату бензину і шкідливі викиди приймали рівними нулю, якщо карбюратор не обладнаний економайзером ПХХ витрату бензину і шкідливі викиди приймали такими, як в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу.

Разом з тим змінна величина годинної витрати бензину і концентрацій ШР в ВГ в процесах неусталеного руху автомобіля ускладнює розрахунки витрати бензину і шкідливих викидів в режимі прогрівання холодного двигуна.

Заміну кожного неусталеного режиму здійснювали «середньою точкою» режиму циклу, яку характеризують середні значення показників, що визначають режим роботи двигуна, і яку можна визначати двома рівноцінними способами:

- за розрідженням у впускному колекторі Δp_k і частотою обертання колінчастого вала двигуна n_∂ (цей спосіб прийнятний при складанні циклу для випробувань автомобілів);
- за крутним моментом M_k і частотою обертання n_∂ (такий спосіб прийнятний при складанні циклу для випробувань двигунів) [86].

Заміну режимів здійснювали за умови, що робота, яка виконана двигуном на неусталеному режимі, дорівнює роботі, яка виконана тим же двигуном на заміненому усталеному режимі.

Кожну ділянку Європейського міського їздового циклу замінювали "середньою точкою", яку характеризують середні значення M_k та n_∂ . Після заміни ділянок з однаковим математичним описом "середньою точкою" об'єднали їх в один режим.

Визначення середньої частоти обертання на певній ділянці режиму Європейського міського їздового циклу здійснювали за залежністю:

$$n_{\partial_c} = \frac{\sum_1^m n_{\partial} \cdot \tau_i}{\sum_1^m \tau_i}, \quad (3.14)$$

де n_{∂} – частота обертання на елементарній ділянці неусталеного режиму, хв^{-1} ;

m – кількість ділянок режимів;

τ_i - тривалість руху автомобіля на елементарній ділянці, год;

Визначення середнього крутного моменту на певній ділянці режиму Європейського міського їздового циклу здійснювали за залежністю:

$$M_{\kappa_c} = \frac{\sum_1^m M_{\kappa} \cdot \tau_i}{\sum_1^m \tau_i}, \quad (3.15)$$

де M_{κ} – крутний момент на елементарній ділянці неусталеного режиму, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Визначення середньої витрати бензину на певній ділянці режиму Європейського міського їздового циклу здійснювали за залежністю:

$$G_{\text{нал}_c} = \frac{\sum_1^m G_i \cdot \tau_i}{\sum_1^m \tau_i}, \quad (3.16)$$

де G_i – витрата бензину на елементарній ділянці неусталеного режиму, кг/год .

Масові викиди ШР розраховували за поліноміальними залежностями (3.12) аналогічно розрахунку годинної витрати бензину.

Таким чином, витрати палива, концентрації ШР, сумарні масові викиди ШР для кожного неусталеного режиму за цикл можна визначати виходячи з розрахованих для середньої точки частоти обертання та крутного моменту і характеристик отриманих в результаті експериментальних досліджень двигуна автомобіля.

3.4 Перевірка можливості застосування спрощеного їздового циклу для розрахунків на математичній моделі для дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобіля в режимі прогрівання двигуна різними методами

Можливість спрощення їздового циклу (заміни неусталених режимів усталеними) перевіряли розрахунком витрати бензину в регламентованому і спрощеному їздових циклах при прогрітому двигуні, розрахунки за якими проводили в інших дослідженнях [84 – 86]. На рис. 3.4 показані залежності годинної витрати бензину в режимах фрагменту регламентованого і спрощеного їздових циклів для прогрітого двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія».

Порівняння витрати бензину за фрагмент Європейського міського їздового циклу при змінній і середній витраті проводили методом порівняння площі під лініями витрати бензину прогрітим двигуном (рис. 3.4) за залежністю:

$$G_{\text{пал}} = S \cdot m_G \cdot m_\tau, \quad (3.17)$$

де S – мм²/фрагмент;

m_G – масштаб витрати бензину, (кг/год) / мм;

m_τ – масштаб часу, год/мм.

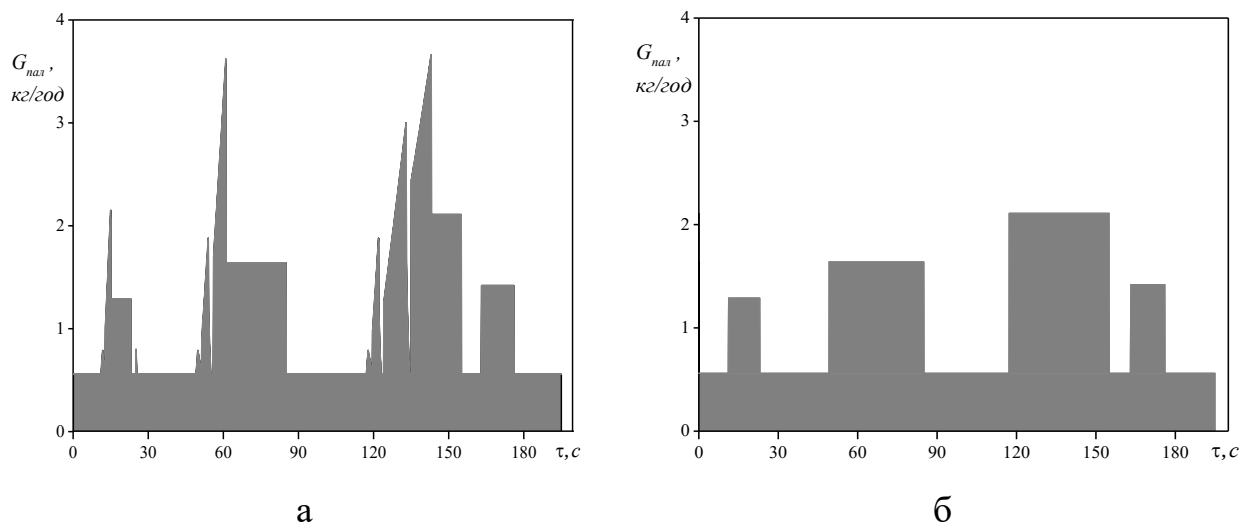


Рисунок 3.4 – Залежності годинної витрати бензину в режимах детального (а) і спрощеного (б) їздових циклів для прогрітого двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія»

Отримана в дослідженнях [84, 85] витрата бензину на один фрагмент Європейського міського їздового циклу на відстань 1,013 км становить в середньому 62 г/фрагмент, розрахункова для спрощеного їздового циклу 63,6 г/фрагмент, різниця складає 2,5%, що свідчить про можливість такого підходу для визначення порівняльних показників автомобіля з двигуном з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Використання математичних моделей надає можливість досліджувати вплив і прогнозувати поведінку об'єкта дослідження у певному діапазоні змін вхідних параметрів.
2. Аналіз проведених досліджень показує, що розрахункові дослідження паливної економічності автомобілів під час руху за їздовим циклом широко застосовують і результати їх достовірні.
3. Для проведення розрахункових досліджень складено уточнену математичну модель із застосуванням спрощеного їздового циклу.
4. На прикладі порівняння витрати бензину за фрагмент міського їздового циклу при змінній і середній витраті доведено можливість його застосування для здійснення досліджень паливної економічності і екологічних показників автомобіля в режимі прогрівання двигуна різними методами.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ПРОГРІВАННІ ЇХ ДВИГУНІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ТА БЕЗ НЕЇ

4.1 Мета і задачі експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є визначення ефективного методу прогріву двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням при експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря з урахуванням його паливної економічності та викидів ШР з ВГ

Для досягнення мети експериментальних досліджень у роботі вирішували наступні задачі:

1. Дослідження впливу підігріву повітря на впуску двигунів з іскровим запалюванням з різними системами живлення на паливну економічність та викиди ШР з ВГ в режимі прогрівання двигунів різними методами.

2. Визначення показників ТАФП як джерела теплової енергії для підігріву повітря на впуску двигунів з іскровим запалюванням.

3. Дослідження впливу методу прогріву двигуна з іскровим запалюванням в штатній комплектації на паливну економічність легкового автомобіля в експлуатаційних умовах.

4. Визначення паливної економічності і викидів ШР автомобілем в режимі прогрівання його двигуна в штатній комплектації за низьких температур навколишнього повітря в умовах інтенсивного дорожнього руху в міських умовах.

5. Визначення паливної економічності і викидів ШР автомобілем в режимі прогрівання його двигуна з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП.

4.2 Програма та методика експериментальних досліджень

Для вирішення вище наведених задач розробили програму експериментальних досліджень двигунів та легкових автомобілів з іскровим запалюванням, яка включає наступне.

1. Пуск і прогрів встановлених на гальмівному стенді двигунів з різними системами живлення в штатній комплектації в умовах низьких температур навколишнього повітря за роботою в режимах холостого ходу та навантажувальних режимах з замірами часу прогрівання, миттєвої та загальної витрати бензину, температур повітря на впуску, охолодної рідини, оливи в картері двигуна, складу паливоповітряної суміші, концентрацій ШР у ВГ до та після КН.

2. Пуск і прогрів встановлених на гальмівному стенді двигунів з різними системами живлення з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП за низьких температур навколишнього повітря за роботою в режимах холостого ходу та навантажувальних режимах з замірами часу прогрівання, миттєвої та загальної витрати бензину, температур повітря на впуску, охолодної рідини, оливи в картері двигуна, складу паливоповітряної суміші, концентрацій ШР у ВГ до та після КН.

3. Випробування ТАФП шляхом нагрівання повітря на вході в ТАФП з допомогою металокерамічного нагрівача та пристрою для зарядки ТАФП в процесі роботи двигуна для забезпечення кінцевої температури газового трубного пучка близько 100°C з замірами температури газового трубного пучка, ВГ на вході і виході з ТАФП. За цими температурами визначали початок та кінець періодів плавлення та кристалізації ТАМ та використовували ці дані для теплового розрахунку ТАФП та параметрів його конструкції.

4. Пуск і прогрівання холодного двигуна легкового автомобіля з системою розподіленого впорскування бензину в штатній комплектації в дорожніх умовах трьома методами:

- прогрів двигуна в режимі холостого ходу;
- прогрів двигуна в русі автомобіля;
- комбінований прогрів двигуна.

В процесі проведення досліджень здійснювали контроль температур охолодної рідини, оливи в картері двигуна, відстані, яку подолав автомобіль, затраченого часу і кількості витраченого бензину.

5. Пуск та прогрів двигуна легкового автомобіля в штатній комплектації в умовах низьких температур навколишнього повітря в русі по міській магістралі з інтенсивним дорожнім рухом з замірами температур повітря на вході в карбюратор, охолодної рідини, оливи в картері двигуна, відстані, яку подолав автомобіль, затраченого часу, кількості витраченого бензину, концентрацій ШР у ВГ.

6. Пуск та прогрів двигуна легкового автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП в русі по міській магістралі з інтенсивним дорожнім рухом з замірами температур повітря на вході в карбюратор, охолодної рідини, оливи в картері двигуна, відстані, яку подолав автомобіль, затраченого часу, кількості витраченого бензину, концентрацій ШР у ВГ.

7. Методика стендових випробувань прийнята у відповідності до [91].

4.3 Об'єкти експериментальних досліджень

Метою стендових експериментальних досліджень є визначення впливу температури повітря на впуску на паливну економічність та емісію ШР у ВГ двигуна з іскровим запалюванням при його прогріві в режимі холостого ходу та під навантаженням.

Об'єктами стендових експериментальних досліджень були двигуни з іскровим запалюванням MeM3-245 та VW BBY.

Частина досліджень проведена на двигуні з іскровим запалюванням і карбюраторною системою живлення MeM3-245 обладнаному всією

необхідною вимірювальною апаратурою та приєднаному до обкатувально-гальмівного стенду (рис. 4.1). У систему випуску ВГ двигуна встановлено трикомпонентний КН 2110-1206010-13 типу 2110-2112 «Атекс». Загальні технічні характеристики КН наведено в таблиці 4.1.

Загальні технічні характеристики двигуна MeM3-245 наведено в таблиці 4.2.

Для визначення впливу підігріву повітря на впуску на паливну економічність і екологічні показники двигуна із сучасною розподіленою системою впорскування бензину проведені стендові випробування двигуна VW BBY (рис. 4.1).

Чотирициліндровий бензиновий двигун VW BBY з 4-клапанною системою газорозподілу обладнаний електронною системою управління Magneti Marelli 4MV і двоступеневою системою нейтралізації викидів ШР та рециркуляцією ВГ. Стехіометричний склад паливоповітряної суміші, підтримується за допомогою кисневого датчика (лямбда-зонду).

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика
трикомпонентного КН 2110-1206010-13

Параметр	Значення
Робочий об'єм нейтралізатора, л	1,6
Габаритні розміри, мм	370×125
Маса нейтралізатора, кг	3,6
Газодинамічний опір нейтралізатора при витраті повітря 100 і 250 м ³ /год., мм.вод.ст.	не перевищує 70 і 270
Температура досягнення 50 % ефективності по перетворенню викидів C _m H _n не більше, °C	285
Ефективність зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах, %	
CO	98
C _m H _n	98
NO _x	95
Гарантійний термін служби, тис. км пробігу	80



Рисунок 4.1 – Об’єкти експериментальних досліджень на обкатувально-гальмівному стенді:
двигун VW BBY (ліворуч) та двигун MeM3-245 (праворуч)

Таблиця 4.2 - Технічна характеристика двигуна MeM3-245

Найменування параметрів	Значення параметрів
Заводський номер	0121509
Тип двигуна	бензиновий, 4-тактний, рядний
Паливо	А-95
Тип паливної системи	карбюраторна
Тип системи запалювання	безконтактна
Діаметр циліндра, мм	72
Хід поршня, мм	67
Ступінь стискання	9,5
Робочий об'єм двигуна, см ³	1091
Мінімальна частота обертання в режимі холостого ходу, хв ⁻¹	850
Максимальна частота обертання, хв ⁻¹	5800
Максимальний крутний момент, Н·м / при частоті обертання, хв ⁻¹	78,5/3000
Номінальна потужність, кВт / при частоті обертання, хв ⁻¹	37,5/5500

Загальні технічні характеристики двигуна VW BBY наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика двигуна VW BBY

Найменування параметрів	Значення параметрів
1	2
Заводський номер	070901
Тип двигуна	бензиновий, 4-тактний, рядний
Паливо	А-95
Число циліндрів	4
Діаметр циліндра, мм	76,5
Хід поршня, мм	75,6
Ступінь стискання	10,5
Робочий об'єм двигуна, см ³	1390
Мінімальна частота обертання в режимі холостого ходу, хв ⁻¹	800
Максимальний крутний момент, Нм / при частоті обертання, хв ⁻¹	126/3800
Номінальна потужність, кВт / при частоті обертання, хв ⁻¹	55/5000
Тип системи запалювання	електронна з індивідуальними котушками запалювання та регулюванням детонації
Система впорскування палива	Magneti Marelli 4MV

Продовж. табл. 4.3

1	2
Система нейтралізації викидів шкідливих речовин з ВГ	два каталітичних нейтралізатори (попередній і основний) з регулюванням паливоповітряної суміші за сигналами кисневого датчика та рециркуляцією ВГ:
Виконуються норми викидів шкідливих речовин з ВГ	Євро 4

Об'єктами дорожніх випробувань були серійні легкові автомобілі з іскровим запалюванням Daewoo Lanos та ЗАЗ-1102 «Таврія».

Дослідження впливу методу прогрівання двигуна з іскровим запалюванням на паливну економічність в експлуатаційних умовах здійснено на автомобілі Daewoo Lanos (рис. 4.2, табл. 4.4), якій обладнано чотирициліндровим, чотиритактним бензиновим двигуном A15SMS з рідинною системою охолодження. За даними [92, 93] автомобілі цієї марки є найбільш розповсюдженими на території України з числа імпортованих автомобілів. На момент випробувань пробіг автомобіля становив 97 тис. км.



Рисунок 4.2 – Об'єкт дорожніх випробувань - автомобіль Daewoo Lanos

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика автомобіля Daewoo Lanos [94]

Параметри	Значення
Тип кузова	Седан
База, мм	2520
Колія передніх/задніх коліс, мм	1405/1425
Маса повна, кг	1595
Двигун	
Тип	бензиновий з розподіленим впорскуванням
Паливо	А-95
Робочий об'єм, см ³	1498
Діаметр циліндру/хід поршня	76,5/81,5
Ступінь стискання	9,5
Максимальна потужність, кВт	63
Розташування, к-сть циліндрів/клапанів на циліндр	рядне, 4/2
Максимальний крутний момент, Н·м	130 (при 3400 хв ⁻¹)
Трансмісія	
Тип приводу	передній
КПП	механічна, 5-ти ступінчата.
Експлуатаційні показники	
Максимальна швидкість, км/г	172
Витрати палива (місто)	10,4
Система нейтралізації викидів шкідливих речовин з ВГ	трикомпонентний каталітичний нейтралізатор
Виконуються норми викидів шкідливих речовин з ВГ	Євро 2

Під час проведення дорожніх випробувань автомобіля Daewoo Lanos, визначення витрати бензину здійснювали витратоміром палива об'ємного типу, розробленим в Хмельницькому національному університеті, який розташовано в салоні автомобіля (рис.4.3).

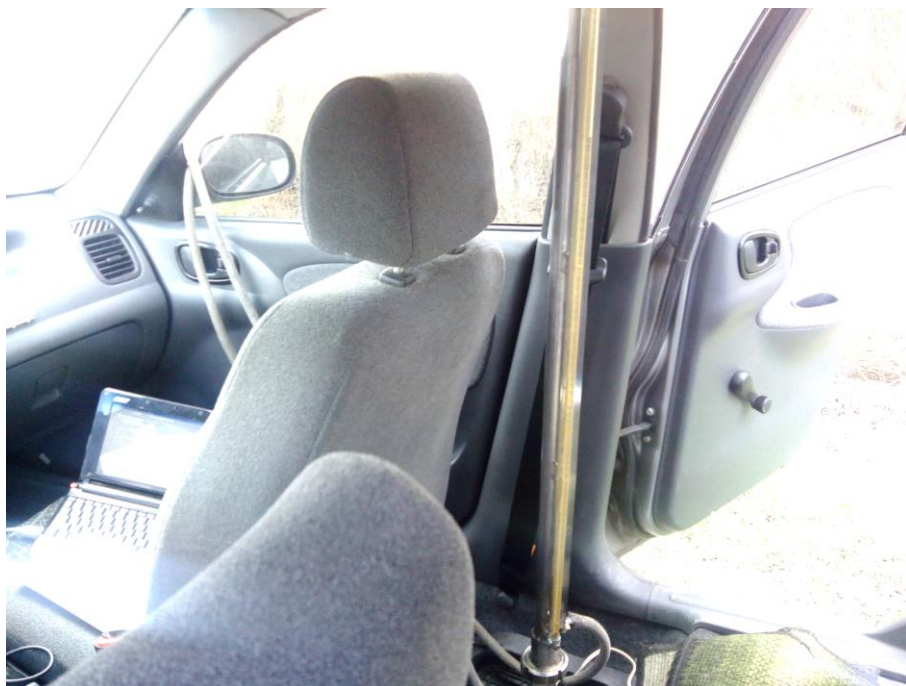


Рисунок 4.3 – Витратомір палива об'ємного типу

Визначення паливної економічності і концентрацій ШР у ВГ в режимі прогрівання двигуна автомобіля з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП в режимі холостого ходу та в дорожніх умовах відбувалось на автомобілі ЗАЗ-1102 „Таврія” (рис. 4.4, табл. 4.5).



Рисунок 4.4 – Об'єкт дорожніх випробувань - автомобіль ЗАЗ-1102 „Таврія”

Таблиця 4.5 – Технічна характеристика автомобіля ЗАЗ-1102 [95]

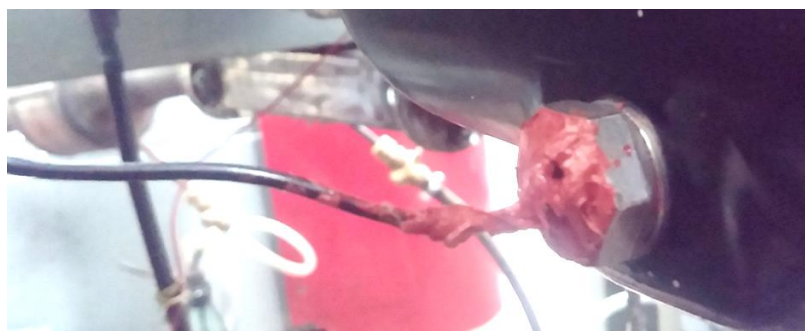
Параметри	Значення
Кузов	
Тип кузова	Хетчбек
Кількість дверей	3
Габарити	
Довжина, мм	3708
Ширина, мм	1554
Висота, мм	1410
Маса автомобіля, кг	727
Двигун	
Розташування двигуна	Спереду, поперечно
Об'єм двигуна, см ³	1091
Тип розташування циліндрів	Рядний
Кількість циліндрів	4
Система живлення	Карбюратор
Потужність, кВт/хв ⁻¹	37,5/5500
Крутний момент, Н·м	78,5/3000
Тип палива:	АИ-92
Трансмісія	
Привід:	Передній
Кількість передач (МКПП):	5
Експлуатаційні показники	
Об'єм паливного бака, л	39
Максимальна швидкість, км/ч	148
Витрата палива (змішаний цикл), л. на 100 км:	6,0

Під час проведення дорожніх випробувань автомобіля ЗАЗ-1102 „Таврія” визначення витрати бензину здійснювали витратоміром палива ONO-SOKKI DF-311, концентрації ШР у ВГ газоаналізатором МЕТА, які розташовано в салоні автомобіля (рис.4.5)



Рисунок 4.5 – Витратомір палива ONO-SOKKI DF-311 (ліворуч),
газоаналізатор МЕТА Автотест-02 (праворуч)

Для забезпечення виконання програми досліджень виготовлено і, додатково до штатної комплектації силових установок встановлено наступне обладнання (рис. 4.6): виносний датчик для вимірювання температури оливи в картері двигуна (а), виносний датчик для вимірювання температури повітря на впуску (б), ТАФП на місці переднього пасажира (в), місце кріплення шланга від ТАФП до очисника повітря (г), пристрій для зарядки ТАФП в процесі роботи двигуна (д).



(а) виносний датчик для вимірювання температури оливи в картері двигуна



(б) виносний датчик для вимірювання температури повітря на впуску



(в) ТАФП на місці переднього пасажира



(г) місце кріплення шланга від ТАФП до очисника повітря



(д) пристрій для зарядки ТАФП в процесі роботи двигуна

Рисунок 4.6 – Додаткове обладнання до штатної комплектації силових установок під час проведення експериментальних досліджень

4.4 Прилади і обладнання

Дослідження впливу підігріву повітря на впуску на показники роботи двигунів MeM3-245 і VW BBU проводили в лабораторії випробувань двигунів Національного транспортного університету на обкатувально-гальмівному стенді SAK-670 (Німеччина) із електричною гальмівною машиною GPFa17h (заводський №451759) потужністю 250 кВт і максимальною частотою обертання 3200 хв^{-1} (рис. 4.1, 4.7).

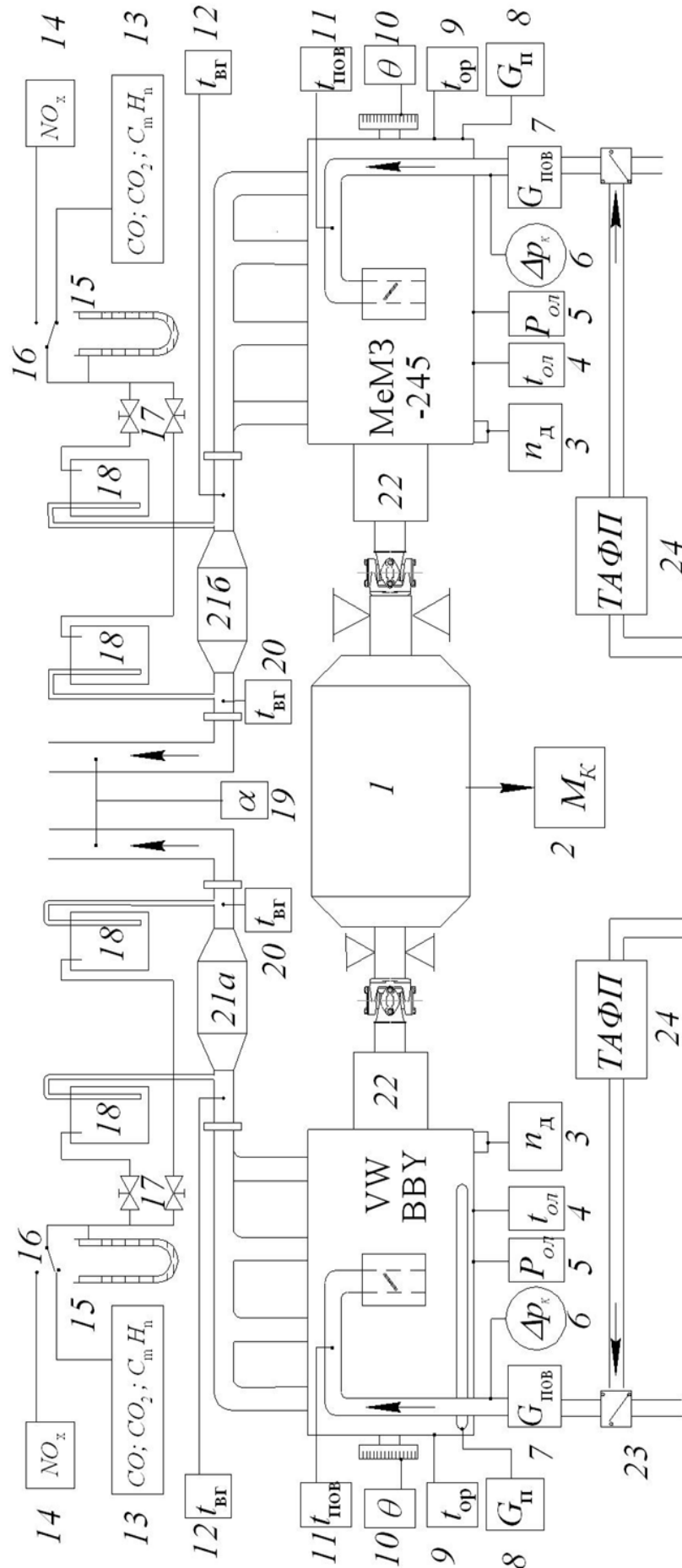


Рисунок 4.7 – Принципова схема експериментальної установки

1 – стенд обкатувально-гальмівний для випробування двигунів внутрішнього згоряння SAK–670 із електричною гальмівною машиною GPFa17h (потужність 250 кВт, максимальна частота обертання 3200 хв⁻¹);

2 – реєстратор величини крутного моменту;

3 – прилад для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна;

4 – датчик температури оливи в картері двигуна;

5 – датчик тиску оливи системи мащення двигуна;

6 – датчик розрідження у впускному колекторі;

7 – витратомір повітря РГ-100;

8 – ваговий прилад для вимірювання витрати палива;

9 – датчик температури охолодної рідини на виході з блоку циліндрів;

10 – прилад для вимірювання кута випередження запалювання;

11 – датчик температури повітря перед дросельною заслінкою;

12 – датчик температури ВГ перед КН;

13 – газоаналізатор МЕТА Автотест – 02;

14 – газоаналізатор 344 ХЛ – 14;

15 – рідинний U-подібний манометр;

16 – перемикач потоку ВГ між газоаналізаторами;

17 – дросельні вентиля;

18 – осушувачі проб ВГ;

19 – контролер широкосмугового лямбда-зонда: Альфаметр LC-1;

20 – датчик температури ВГ після КН;

21 – трикомпонентні КН (а – попередній (VW BBY), б - основний МеМЗ-245);

22 – коробка перемикання передач;

23 – перемикач режимів забору повітря на впуску "безпосередньо з навколишнього середовища – через ТАФП";

24 – ТАФП.

Частоту обертання колінчастого вала двигуна визначали частотоміром електронно-рахунковим Ф5035 (рис. 4.8).



Рисунок 4.8 – Частотомір електронно-лічильний Ф5035

Вимірювання витрати палива проводили ваговим методом за допомогою електронних ваг МЕРА ВМ 2/3 (рис. 4.9 та табл.4.6)



Рисунок 4.9 – Електронний секундомір TAKSUN TS-613A
та електронні ваги МЕРА ВМ 2/3

Заміри витрати повітря проводили ротаційним газовим лічильником РГ-100.

Таблиця 4.6 – Технічна характеристика ваг ВМ2/3.

Найменування параметра		ВМ 2/3
Найменша межа зважування, кг		0,005
Одиниця дискретності показань маси в діапазоні навантажень, г	У діапазоні від 0,01 до 1,5 кг	0,5
	Понад 1,5кг	1
Ціна поділки в діапазоні навантажень, г	У діапазоні від 0,01 до 1,5 кг	0,5
Межі допустимої похибки в діапазоні навантажень, г	від 0,005 до 0,25	±0,5
	від 0,25 до 1,0	±1,0
Час вимірювання не більше, сек.		4
Габаритні розміри, мм		270x370x100

Визначення об'ємного вмісту оксиду вуглецю і вуглеводнів (за гексаном) здійснювали за допомогою інфрачервоного газоаналізатора Автотест-02 (рис.4.5 і табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Технічна характеристика газоаналізатора МЕТА Автотест-02

Вимірюваний компонент	Діапазон вимірювань	Ціна поділки	Діапазон вимірювань	Основна похибка	
				абсолютна	Відносна
Вуглеводні	0...3000 млн ⁻¹	1 млн ⁻¹	0...333 млн ⁻¹	± 20 млн ⁻¹	—
			333...3000 млн ⁻¹	—	±6%
Оксид вуглецю	0...7%	0,01%	0...3,3%	± 0,2%	—
			3,3...7%	—	±6%
Двооксид вуглецю	0...16 %	0,1 %	0 4-16%	± 1%	—
Кисень	0...21 %	0,1 %	0...3,3%	± 0,2%	—
			3,3...21%	—	±6%

Примітка – В таблиці наведено дані у перерахунку на гексан.

Об'ємний вміст оксидів азоту визначали газоаналізатором 344ХЛ-14 (рис.4.10 та табл. 4.8).



Рисунок 4.10 – Газоаналізатор 344ХЛ-14

Таблиця 4.8 – Технічна характеристика газоаналізатора 344ХЛ-14

Тип газоаналізатора	Метод газового аналізу	Похибка вимірювання, %	Діапазон вимірювань	Маса, кг	Габарити, Мм
344ХЛ-14 оксиди азота (NO _x)	Хемілюмінесцентний	±3.0	0-100 ррт	12	450x400x200
			0-500 ррт		
			0-2000 ррт		
			0-5000 ррт		

Калібрування газоаналізаторів перед початком вимірювань виконували еталонними газовими сумішами.

Склад паливоповітряної суміші (коефіцієнт надміру повітря) визначали альфаметром LC-1 або розраховували за витратами палива і повітря.

Контроль температури повітря на впуску, у впускному колекторі та оливи в картері двигуна здійснювали портативним електронним термометром WSD10 з виносним датчиком (рис.4.11 та табл. 4.9).



Рисунок 4.11 – Електронний термометр WSD10 з виносним датчиком

Таблиця 4.9 – Технічна характеристика електронного термометра WSD10

Найменування параметра	Показник
Робоча температура	мінус 10...+50°C
Діапазон вимірювання температури	мінус 50...+110°C
Похибка	±1°C
Ціна поділки в діапазоні вимірювання	±0.1°C

Температуру ВГ на стенді та на вході і виході з ТА (контур зарядки) визначали первинними термоперетворювачами опору та термоелектричними перетворювачами (табл. 4.10) та пристроєм для вимірювання і контролю температури УКТ38 Щ4 (рис. 4.12 та табл. 4.11).

Таблиця 4.10 – Технічна характеристика вхідних первинних перетворювачів

Найменування	Діапазон контролю	Межа основної зведеної похибки
Термоперетворювачі опору		
TСМ	мінус 50°С...200°С	0,5 %
Перетворювачі термоелектричні		
ТХА	мінус 50°С...1300°С	0,5 %



Рисунок 4.12 – Пристрій для вимірювання і контролю температури УКТ38 Щ4

Таблиця 4.11 – Технічна характеристика пристрою для вимірювання і контролю температури УКТ38 Щ4

Найменування параметра	Показник
Номінальна напруга живлення	220 В 50 Гц
Кількість каналів контролю вхідних параметрів	2...8
Тривалість циклу опитування 8-ми датчиків приладом	2,2с...3,6с
Інтерфейс зв'язку з комп'ютером	RS-232
Температура навколишнього повітря	+1°С...+50°С
Маса приладу, не більше	1,0 кг

Час витрати палива і повітря при проведенні випробувань фіксували електронним секундоміром TAKSUN TS-613A з ціною поділки 0,01с.

Абсолютні похибки при прямих вимірюваннях параметрів роботи

двигунів визначалися точністю обладнання, яке використовували.

4.5 Результати стендових випробувань двигунів

Випробування впливу підігріву повітря на впуску двигуна з іскровим запалюванням MEM3-245 здійснювали при температурі навколишнього повітря близько 20°C на частоті обертання колінчастого вала 1400 хв^{-1} (оптимальна, усталена частота при прогріванні), до температури охолодної рідини двигуна близько 90°C .

За результатами проведених досліджень встановлено (рис. 4.13 та рис.4.14) [37].

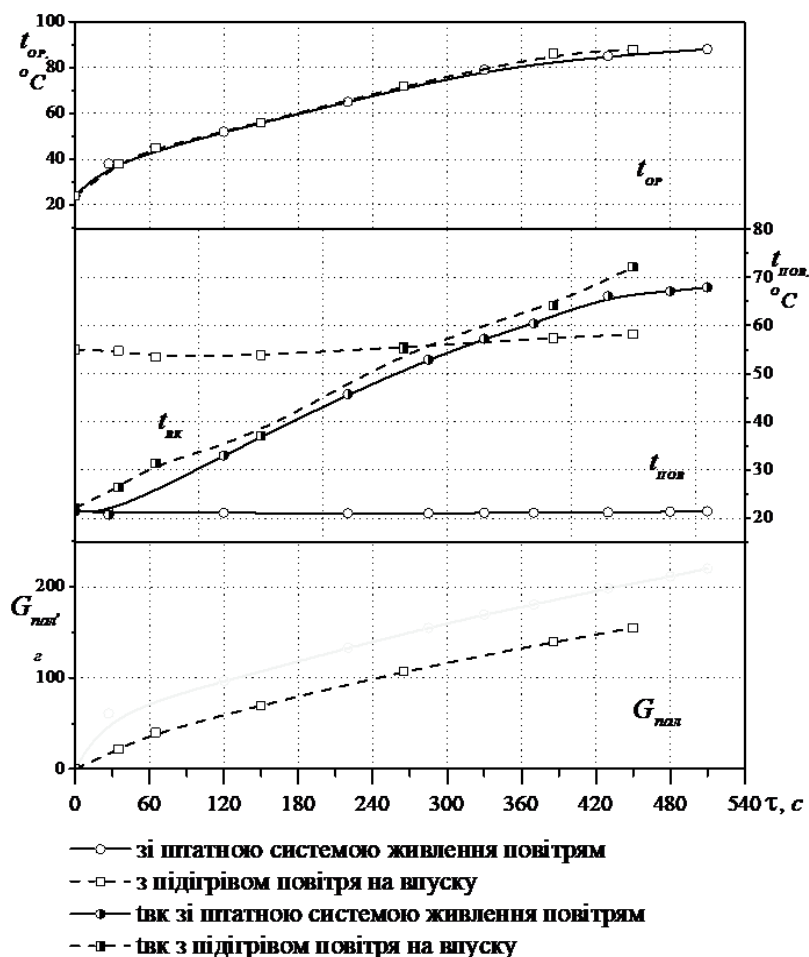


Рисунок 4.13 – Зміна параметрів роботи двигуна MEM3-245 від часу прогрівання в режимі холостого ходу

Металокерамічний нагрівальний елемент забезпечує підігрів повітря на

впуску близько 55°C .

Стабілізація температури охолодної рідини спостерігається при підігріванні повітря на рівні 88°C на 450-й секунді, без підігріву - на 510-й секунді з моменту пуску двигуна. Тобто, прогрівання двигуна, з підігріванням повітря на впуску, відбувається, за результатами випробувань, на 60 секунд (близько 12%) швидше ніж прогрівання двигуна зі штатною системою живлення повітрям.

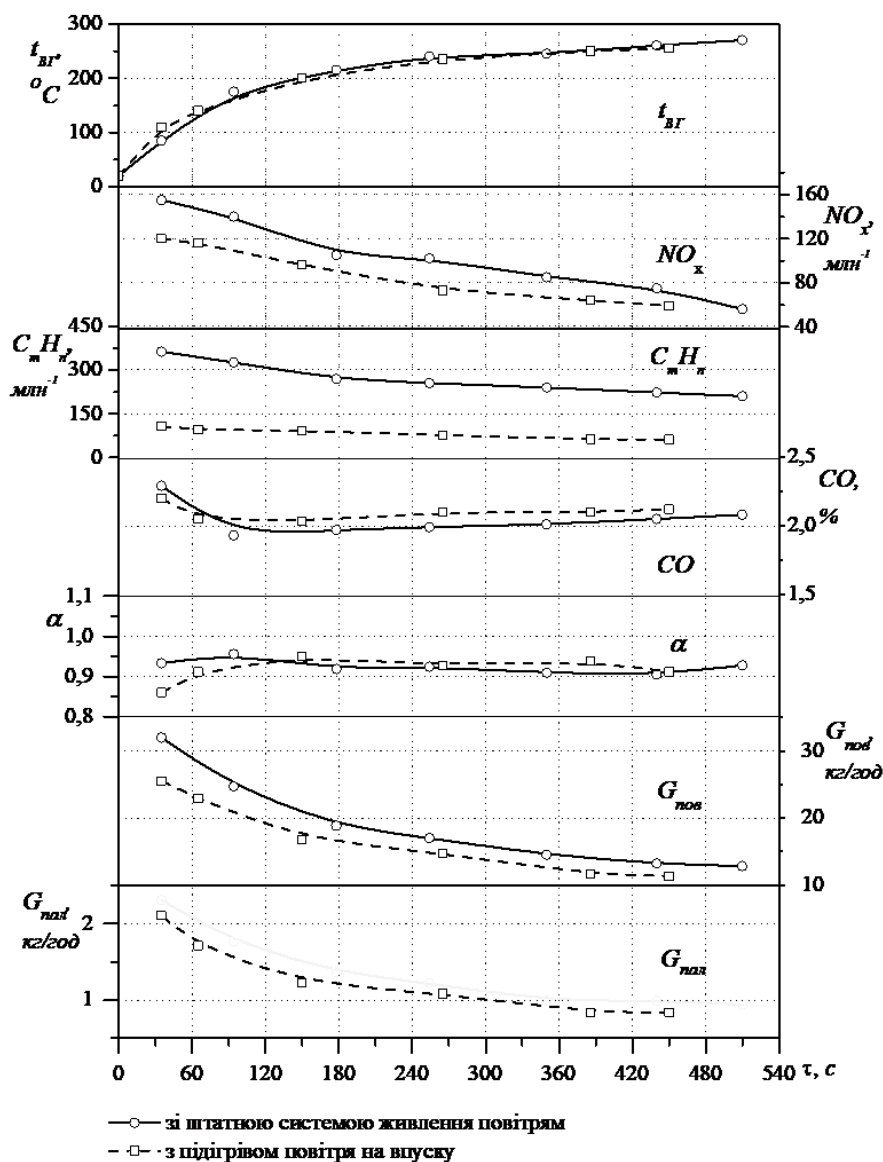


Рисунок 4.14 – Зміна параметрів роботи двигуна МЕМЗ-245 і концентрацій шкідливих речовин у ВГ від часу прогрівання в режимі холостого ходу

Аналіз, отриманих в результаті експериментальних досліджень, даних щодо витрати палива, з урахуванням необхідного часу прогрівання двигуна,

дозволяє визначити його кількість. З підігрівом повітря на впуску, витрата палива складає – 155 г, зі штатною системою – 220 г. Тобто, за час прогрівання двигуна, за результатами випробувань, економія палива, з підігрівом повітря на впуску, становить 65 г (близько 29,5%).

Відповідно годинна витрата палива в кінці прогрівання (рис.4.15) зменшується з 0,94 до 0,84 кг/год (приблизно на 11%).

Різниця температур ВГ з підігрівом повітря на впуску і без становить 10°C (близько 4%).

Аналіз отриманих даних щодо концентрацій ШР у ВГ двигуна при його прогріванні в режимі холостого ходу, показав (рис.4.14).

Різниця концентрації оксиду вуглецю у ВГ в ході прогрівання становить близько 5%.

Концентрація вуглеводнів у ВГ в ході прогрівання двигуна з підігрівом повітря на впуску значно зменшилась і до закінчення прогрівання становила близько 60 млн⁻¹, тоді як при роботі зі штатною системою – 210 млн⁻¹.

Застосування підігріву повітря на впуску, за результатами випробувань, показує дещо менші значення концентрації оксидів азоту у ВГ на початку прогрівання. При досягненні температури охолодної рідини 88°C к 510-й секунді з моменту пуску двигуна, концентрації оксидів азоту у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою зрівнялися.

Дослідження впливу підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники в режимах пуску та прогрівання сучасного двигуна з іскровим запалюванням ВВУ фірми Volkswagen в режимі холостого ходу здійснювали при температурі навколишнього повітря близько 10°C, до температури охолодної рідини двигуна близько 85°C.

Результати проведених досліджень наведено на рис. 4.15 – 4.17 [96].

Частота обертання колінчастого вала двигуна змінювалася відповідно до програми прогріву, закладеної в електронному блоці системи управління двигуном, і змінювалася в середньому від 1150 хв⁻¹ до 700 хв⁻¹.

Підігрів повітря на впуску призводить до зниження густини повітря

внаслідок чого знижується масове наповнення двигуна повітрям. Це спричиняє до збільшення кута відкриття дросельної заслінки в результаті чого підвищується тиск у впускному колекторі. Підвищення температури повітря на впуску спричиняє збільшення кута відкриття дросельної заслінки в середньому на 10% і підвищення тиску у впускному колекторі на 6%.

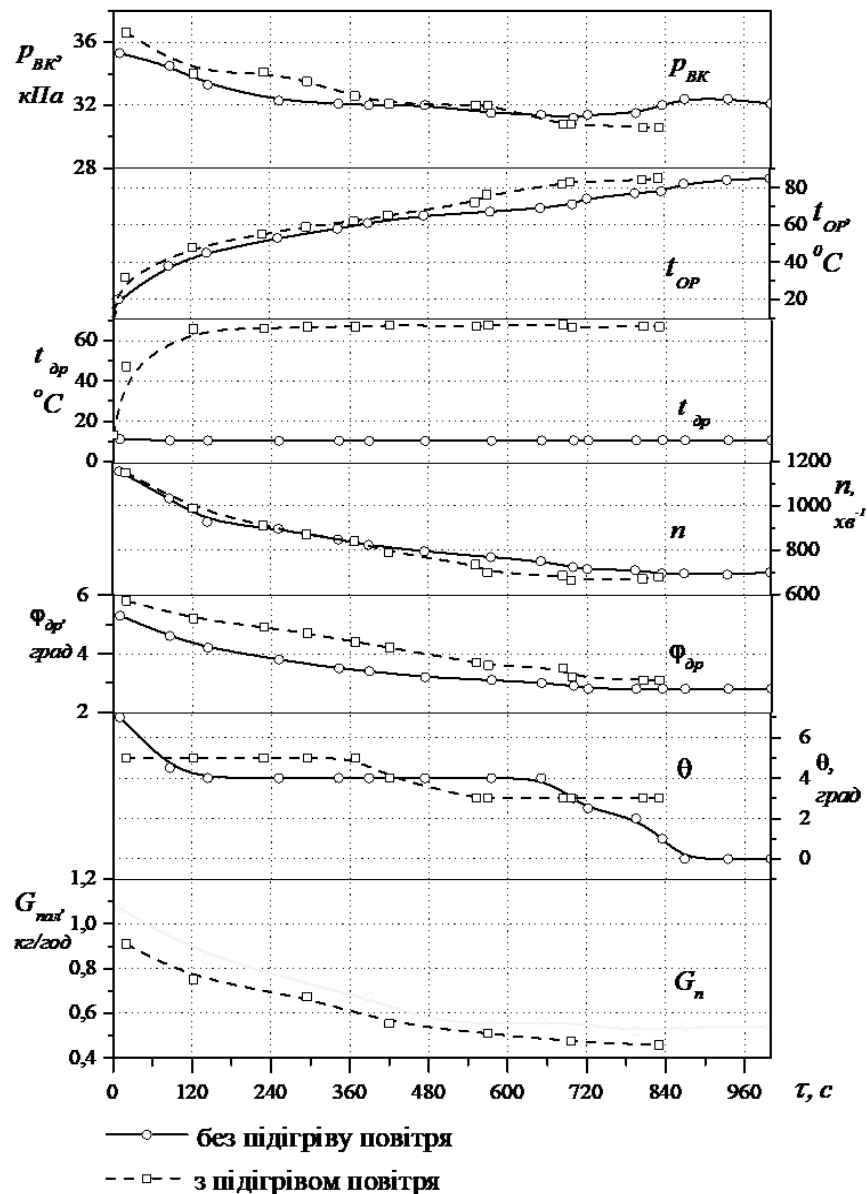


Рисунок 4.15 – Зміна параметрів роботи двигуна VW BBU від часу прогрівання в режимі холостого ходу

При цьому відбувалась зміна кута випередження запалювання в межах від 5° до 4° кута повороту колінчастого вала, під час прогрівання двигуна до

температури охолодної рідини близько 60°C.

Прогрівання двигуна до температури охолодної рідини близько 55°C при підігріві повітря на впуску сталося на 94 секунди швидше, до температури 85°C на 170 секунд швидше, ніж зі штатною системою.

Годинна витрата палива при застосуванні підігріву повітря зменшилася в середньому на 9,8% в межах перших 400 секунд. Витрата палива за час прогрівання системи охолодження склала, при підігріві повітря – 0,193 кг, зі штатною системою – 0,249 кг. Економія склала – 0,056 кг, що становить близько 22%.

Аналіз отриманих даних щодо концентрацій ШР у ВГ двигуна при підігріві повітря на впуску та зі штатною системою показав (рис.4.16).

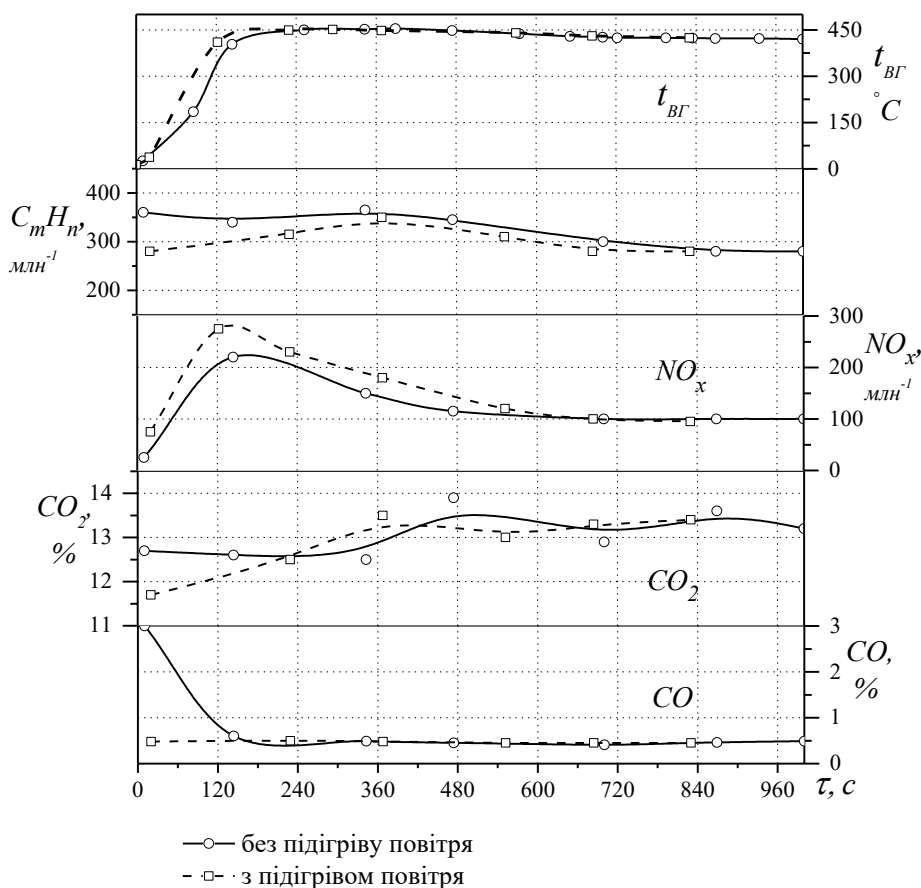


Рисунок 4.16 – Зміна концентрацій ШР у ВГ двигуна VW BBU до попереднього КН при прогріві в режимі холостого ходу

Концентрації оксиду вуглецю, двооксиду вуглецю та вуглеводнів у ВГ під час прогрівання з підігрівом повітря на впуску на початку прогрівання

спостерігалися значно меншими. Застосування підігріву повітря на впуску за результатами випробувань показує дещо більші значення концентрації оксидів азоту на початку прогрівання. В інтервалі часу з моменту пуску холодного двигуна 240...360 секунд, концентрації CO , CO_2 , C_mH_n та NO_x у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися.

Аналіз отриманих даних щодо концентрацій ШР у ВГ двигуна після попереднього КН при підігріві повітря на впуску та зі штатною системою показав (рис.4.17) [97].

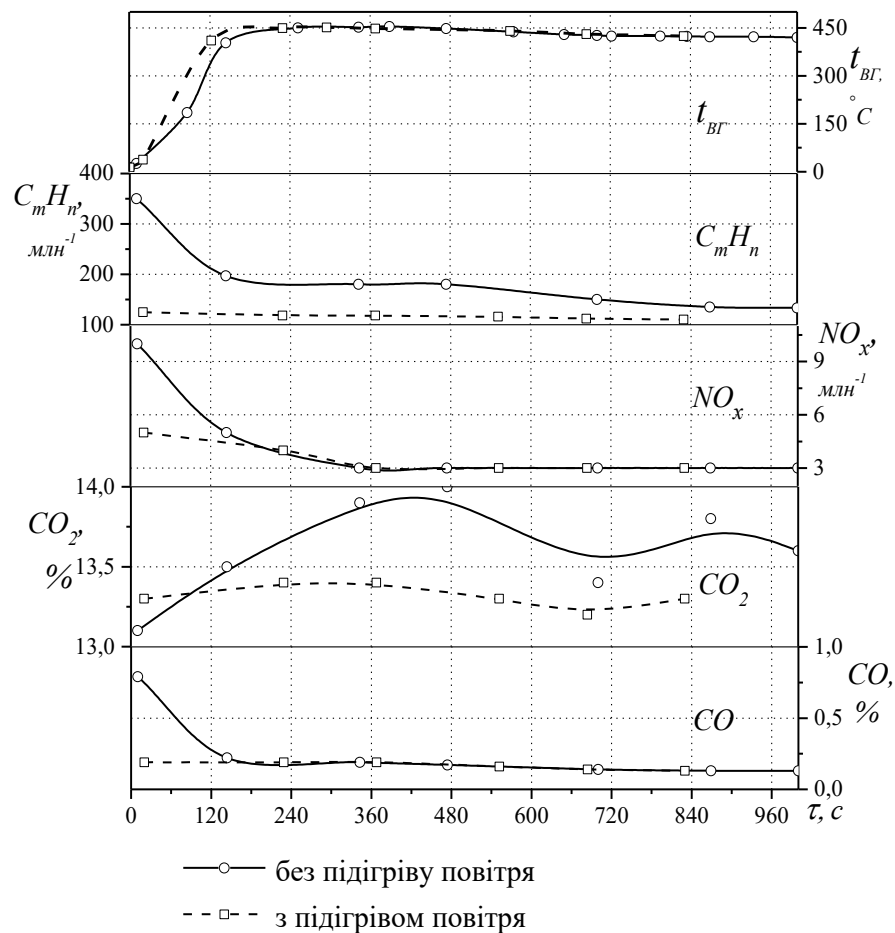


Рисунок 4.17 – Зміна концентрацій ШР у ВГ двигуна VW BBY після попереднього КН при прогріві в режимі холостого ходу

Концентрації оксиду вуглецю, двооксиду вуглецю та вуглеводнів у ВГ в ході прогрівання з підігрівом повітря на впуску на початку процесу прогрівання спостерігалися значно меншими. В інтервалі часу з моменту пуску холодного двигуна 150...270 секунд, концентрації CO , CO_2 , C_mH_n та

NO_x у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися.

Важливим параметром, який визначає початок ефективного функціонування попереднього КН після пуску холодного двигуна, є температура ВГ. Час прогрівання КН до температури 360°C зменшився на 29 с, що становить близько 19%.

Для оцінювання впливу температури повітря на впуску за роботи двигуна VW BBY в режимі малих навантажень проведено випробування в режимі, який відповідає середній точці Європейського міського їздового циклу. Параметри даного режиму визначені за розрахунку на математичній моделі руху автомобіля за їздовим циклом, яка розроблена на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету. Ця модель описує послідовно такі режими руху автомобіля: холостий хід, прискорення, руху з сталою швидкістю на різних передачах, сповільнення.

В результаті розрахунку встановлено, що без врахування режимів холостого ходу, середній точці Європейського міського їздового циклу для двигуна VW BBY відповідають такі параметри: ефективний крутний момент M_e складає 19 Н·м, частота обертання колінчастого вала n_d - 2136 хв^{-1} [98].

Дослідження впливу підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники в режимі прогрівання сучасного двигуна з іскровим запалюванням BBY фірми Volkswagen під навантаженням здійснювали при температурі навколишнього повітря близько 3°C , до температури охолодної рідини двигуна 88°C . Застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП дозволило збільшити температуру повітря на впуску до 42°C .

За результатами проведених досліджень встановлено (рис 4.18 - рис 4.20).

Час прогрівання двигуна без застосування системи підігріву на впуску склав – 540 секунд, при цьому було витрачено – 0,64 кг бензину, підігрів повітря на впуску дозволив скоротити час прогріву холодного двигуна близько 6%, витрату бензину зменшити – близько 19%.

Підігрів повітря на впуску призводить до зниження густини повітря в

наслідок чого знижується масове наповнення двигуна повітрям. Це призводить до збільшення кута відкриття дросельної заслінки в результаті чого підвищується тиск у впускному колекторі.

Підвищення температури повітря на впуску забезпечило стабілізацію розрідження у впускному колекторі на рівні 54 кПа на 160-й секунді, без підігріву – стабілізація на тому ж рівні спостерігалася з 300-й секунді (різниця складає близько 47%).

Температура охолодженої рідини у 55°C з підігрівом повітря на впуску досягла на 120-й секунді, без підігріву – на 210-й секунді (різниця складає близько 43%).

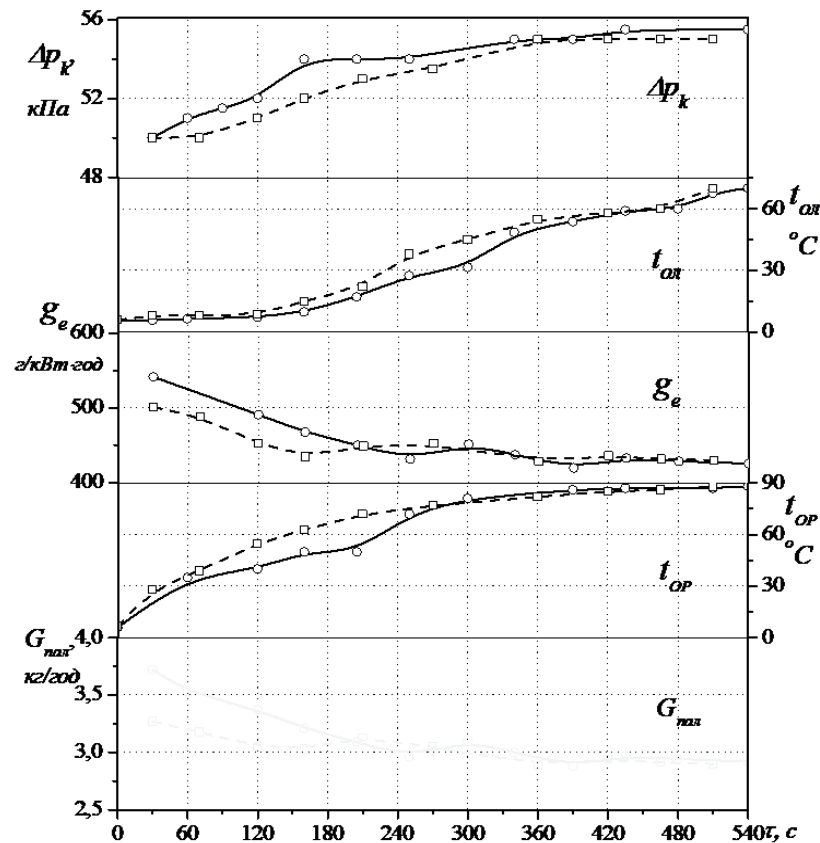


Рисунок 4.18 – Зміна параметрів роботи двигуна VW BBY в режимі прогрівання під навантаженням

Підігрів повітря на впуску дозволило збільшити температуру ВГ до 360°C в районі попереднього КН на 60-й секунді, зі штатною системою таку ж температуру отримано на 73-й секунді (рис. 4.19). Скорочення часу склало близько

18%. Контроль за складом паливо-повітряної суміші в двигуні, вимірюванням рівня вмісту кисню в відпрацьованих газах показав, що стабілізація складу паливоповітряної суміші при підігріві повітря на впуску на рівні $\alpha = 0,98$ відбувається на 40-й секунді, зі штатною системою – на 75-й секунді (різниця складає близько 47%).

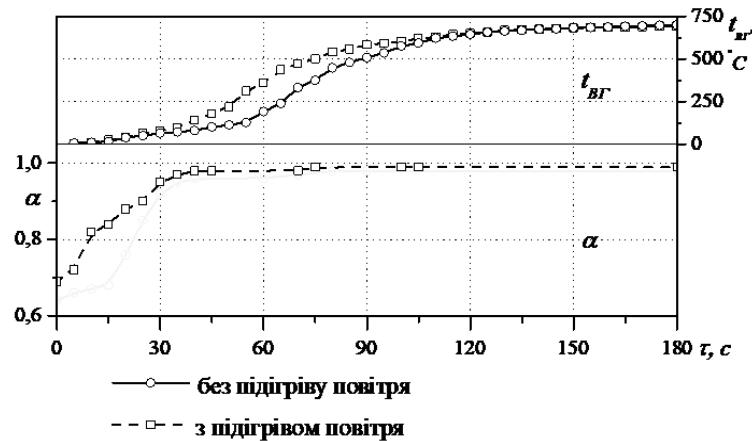


Рисунок 4.19 – Зміна параметрів роботи двигуна VW BBY в режимі прогрівання під навантаженням

Аналіз отриманих даних щодо, концентрацій ШР показав (рис. 4.20).

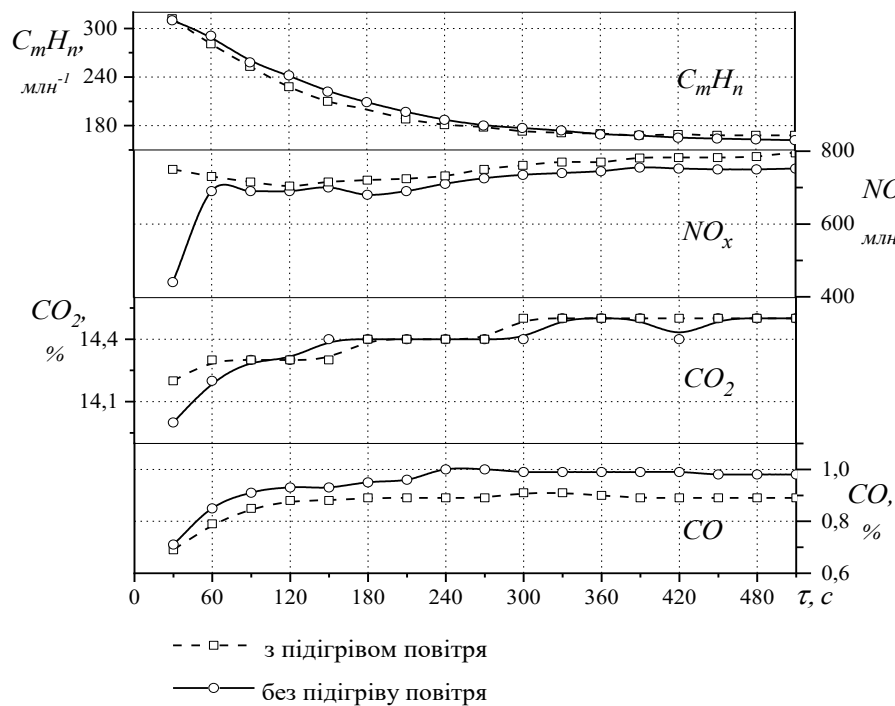


Рисунок 4.20 – Зміна концентрацій ШР у ВГ двигуна VW BBY в режимі прогрівання під навантаженням

Концентрація оксиду вуглецю у ВГ, без підігріву повітря на впуску стабілізувалася на рівні 0,99% на 300-й секунді, з підігрівом повітря на рівні 0,89% на 180-й секунді. Концентрація двооксиду вуглецю у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися на рівні 14,3...14,5% через 90 секунд після пуску холодного двигуна.

Концентрація вуглеводнів у ВГ в режимі прогрівання двигуна з підігрівом повітря на впуску була дещо меншою, стабілізація відбулася після 340-ї секунди і до закінчення прогрівання двигуна становила близько 164...168 млн^{-1} , тоді як при роботі зі штатною системою стабілізація спостерігається після 390-й секунди на рівні 168 млн^{-1} .

Застосування підігріву повітря на впуску за результатами випробувань показує дещо більші значення концентрації оксидів азоту у ВГ.

Дослідження паливної економічності і екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні після пуску холодного двигуна МеМЗ-245 в режимі холостого ходу (рис. 4.21, рис.4.22) показало [99].

Пуск та прогрівання двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 здійснювали при температурі навколишнього повітря близько 3°C за частоти обертання колінчастого вала 1400...1500 хв^{-1} , до температури охолодної рідини двигуна 85°C .

Обладнання з металокерамічним нагрівальним елементом забезпечує підігрів повітря, яке надходить в карбюратор до 60°C (рис. 4.21).

Температура охолодної рідини при підігріві повітря на впуску досягла 60°C на 360-й секунді після пуску двигуна і без підігріву – на 450-й секунді. Час прогрівання холодного двигуна скоротився на 90 секунд, що складає 20%.

Стабілізація температури охолодної рідини на рівні 85°C спостерігається при використанні підігріву повітря на 560-й секунді, без підігріву повітря – на 690-й секунді з моменту пуску двигуна. Тобто, прогрівання двигуна, при підігріві повітря на впуску, відбувається на 130 секунд (близько 19%) швидше від прогрівання двигуна зі штатною системою

живлення повітрям.

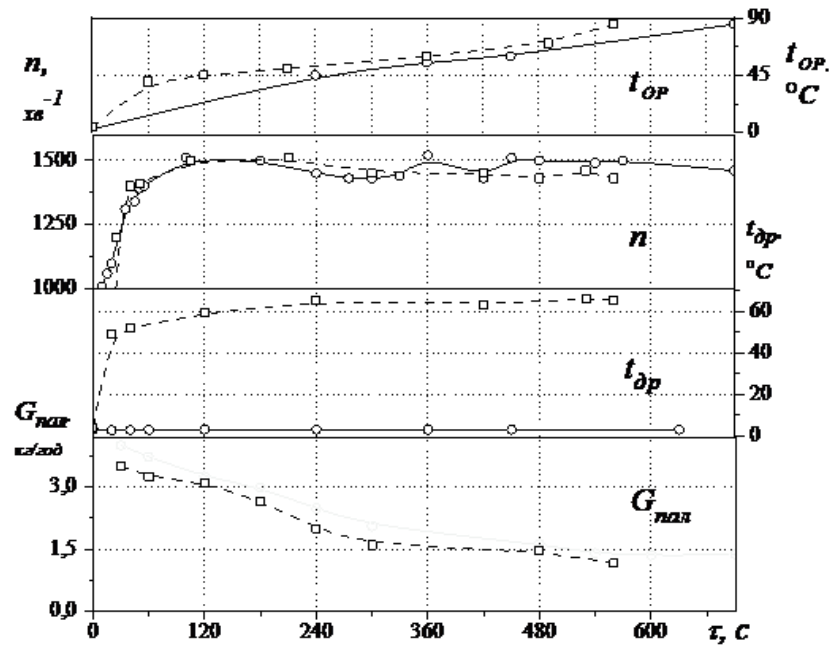


Рисунок 4.21 – Зміна показників роботи двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні в режимі холостого ходу

Аналіз, отриманих в результаті проведення експериментальних досліджень даних щодо витрати палива, з урахуванням необхідного часу прогрівання двигуна до температури охолоджуючої рідини 85°C , дозволяє визначити його спожиту кількість. З підігрівом повітря на впуску, витрата палива складає – 0,464 кг, зі штатною системою – 0,582 кг. Тобто, за час прогрівання двигуна, за результатами випробувань, економія палива, при підігріві повітря на впуску, становить 0,118 кг (близько 20%).

Аналіз отриманих даних щодо емісії ШР у ВГ двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 при його прогріванні в режимі холостого ходу показав (рис. 4.22).

Концентрація оксиду вуглецю у ВГ двигуна, без підігріву повітря на впуску стабілізувалася на рівні 0,73% на 180-й секунді, з підігрівом повітря на рівні 0,53% на 120-й секунді. Концентрація двооксиду вуглецю, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися на рівні 13,4% через 240 секунд після пуску холодного двигуна.

Концентрація вуглеводнів у ВГ в ході прогрівання двигуна з підігрівом

повітря на впуску спостерігалася значно меншою, стабілізація відбулася після 120-ї секунди і до закінчення прогріву становила близько 219 млн^{-1} , тоді як при роботі зі штатною системою стабілізація спостерігається після 180-ї секунди і до закінчення прогріву становила близько 271 млн^{-1} .

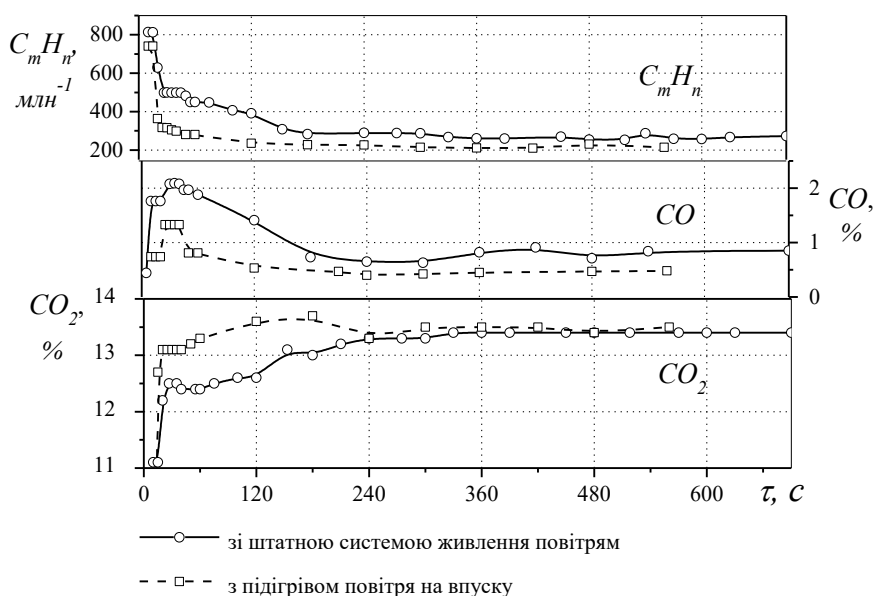


Рисунок 4.22 – Зміна екологічних показників роботи двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні в режимі холостого ходу

Як встановлено раніше, забезпечення оптимальної температури повітря на впуску в режимах пуску холодного двигуна и прогрівання, поліпшує протікання робочого процесу і, як наслідок, позитивно позначається на паливній економічності та екологічних показниках двигуна.

Для вирішення означеної задачі, запропонована система підігріву повітря на впуску з ТАФП для отримання оптимальної температури повітря в означених режимах.

Для визначення на основі експериментальних досліджень коефіцієнтів тепловіддачі, які необхідні для подальших розрахунків, провели випробування виготовленого ТАФП кожухотрубчатого типу без теплової ізоляції (рис. 4.23 – рис. 4.25).

Нагрівання ТАФП проводили за допомогою металокерамічного нагрівача, забезпечуючи температуру повітря на вході в ТАФП близько

300°C. Час, необхідний для нагрівання до температури 117°C склав 155 хв (рис. 4.23).

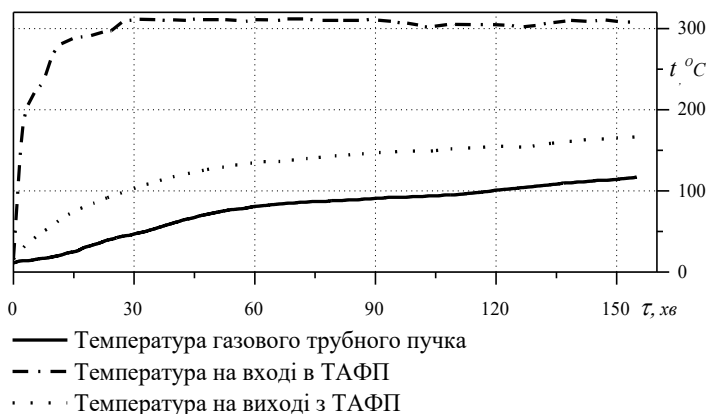


Рисунок 4.23 – Зміна температур ТАФП при зарядці

При цьому температура газового трубного пучка, який призначений для передавання теплоти повітрю на впуску постійно збільшувалась. В період з 68 по 110 хв, спостерігається уповільнення зростання температури (рис. 4.24). Дане уповільнення можна пояснити періодом плавлення ТАМ. Тривалість періоду плавлення становить близько 40 хв.

При природному охолодженні, час розрядки ТАФП в інтервалі температур від 116°C до 65°C склав 220 хв, за цей час середня швидкість зниження температури ТАФП становила близько 0,25°C за хвилину.

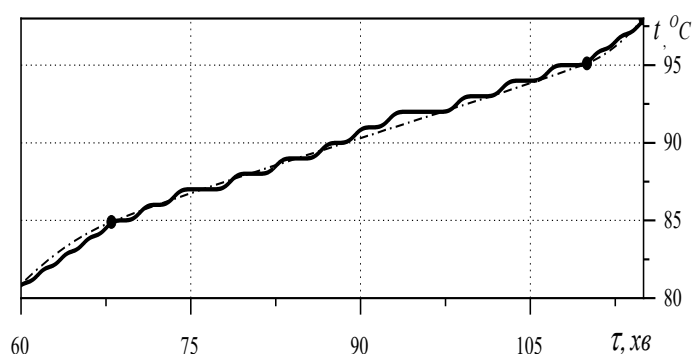


Рисунок 4.24 – Зміна температури ТАФП при зарядці
(період плавлення ТАМ)

Уповільнення зменшення температури газового трубного пучка спостерігається з 69 по 186 хв (рис. 4.25). Дане уповільнення можна пояснити

періодом кристалізації ТАМ. Тривалість періоду кристалізації ТАМ становить не менш 120 хв. Температура газового трубного пучка, який призначений для передавання теплоти повітрю, що надходить у двигун, відносно стабілізувалася в інтервалі $84...73^{\circ}\text{C}$, середня температура становить $78,5^{\circ}\text{C}$, при цьому швидкість зниження температури газового трубного пучка становила близько $0,09^{\circ}\text{C}$ за хвилину.

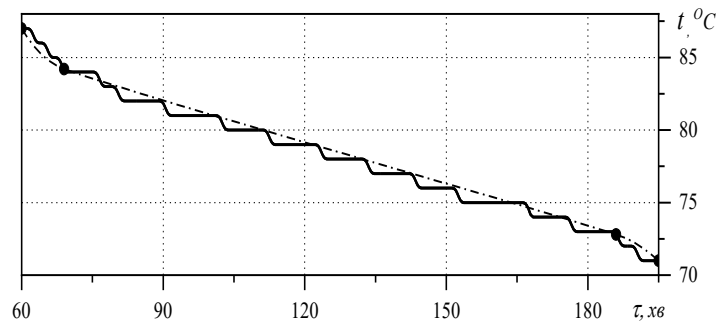


Рисунок 4.25 – Зміна температури ТАФП при природному охолодженні (період кристалізації ТАМ)

4.6 Результати дорожніх випробувань автомобілів

З метою визначення оптимального методу прогріву двигуна легкового автомобіля з іскровим запалюванням після холодного пуску, який має забезпечити оптимізацію витрат паливно-енергетичних ресурсів та тривалості теплової підготовки двигуна провели дорожні експериментальні дослідження.

Експериментальні дослідження проведені в м. Києві на прямолінійній ділянці. Середня швидкість руху становила близько 33 км/год.

Запуск та прогрівання двигуна здійснювали при температурі навколишнього повітря близько 10°C , до досягнення температури охолодної рідини двигуна 80°C .

Проводили випробування 3-х методів прогрівання двигуна автомобіля.

1. Прогрівання двигуна в режимі холостого ходу.
2. Прогрівання двигуна в русі.
3. Комбіноване прогрівання двигуна.

Випробування ефективності цих методів провели в 2 етапи.

На першому етапі контролювали час, який витрачено на прогрівання холодного двигуна автомобіля Daewoo Lanos до температури охолодної рідини 80°C і витрачене на цьому етапі паливо.

На другому етапі визначали загальний час, витрачений на прогрівання двигуна і відстані, яку необхідно подолати для прогрівання двигуна тільки під навантаженням і витрачене на цьому етапі паливо.

За результатами проведених випробувань автомобіля Daewoo Lanos встановлено (рис. 4.26 – рис. 4.28) [100].

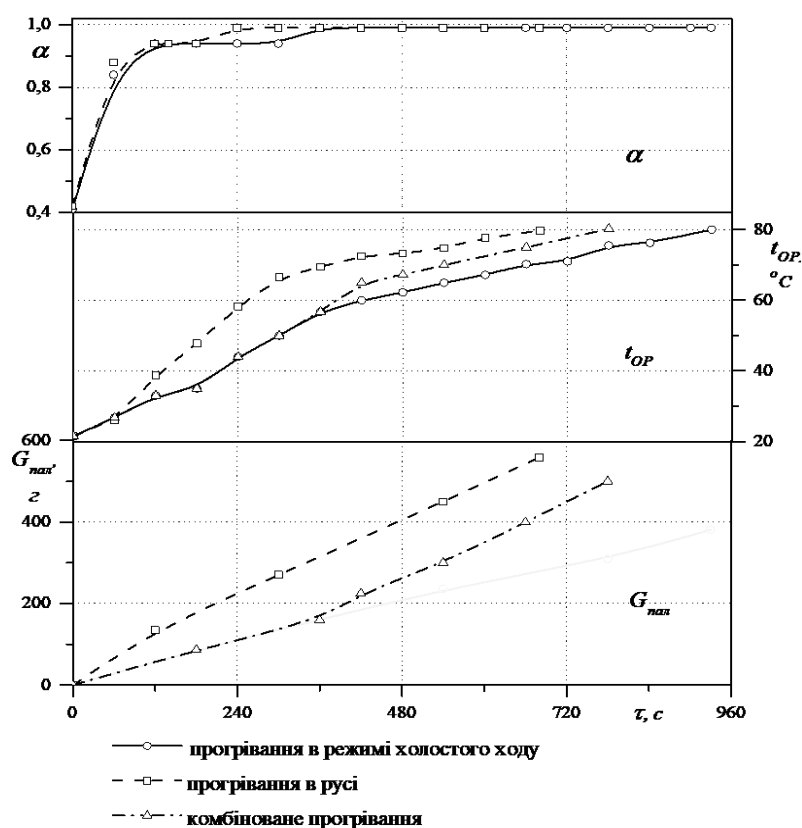


Рисунок 4.26 – Зміни параметрів роботи двигуна автомобіля Daewoo Lanos при різних методах прогріву

На прогрівання двигуна в режимі холостого ходу було затрачено 930 секунд. За цей час, витрата палива становила 0,38 кг.

Прогрівання двигуна в русі (рух автомобіля почався відразу після пуску двигуна). При даному методі, на прогрів охолодної рідини двигуна до температури 80°C було витрачено 680 секунд, За цей час автомобіль подолав

дистанцію в 6200 м, витрата палива становила 0,558 кг.

Для визначення методики комбінованого прогрівання двигуна автомобіля Daewoo Lanos, були використані дані про зміну співвідношення повітря/паливо – AFR при прогріванні в режимі холостого ходу. Оптимальний склад паливоповітряної суміші зі значенням $\alpha = 0,99$ стабілізувався при температурі охолоджуючої рідини двигуна 58°C. У зв'язку з цим, для подальших випробувань була прийнята наступна методика комбінованого прогрівання – «Пуск двигуна» - «Прогрівання в режимі ХХ» (до температури охолодної рідини 50...60°C) - «Подальший прогрів двигуна в русі».

При прогріванні двигуна комбінованим методом були отримані наступні значення – загальний час прогрівання склав 780 секунд, (360 секунд в режимі холостого ходу та 420 секунд в русі). За цей час автомобіль подолав дистанцію в 3800 м, загальна витрата палива становила 0,5 кг.

Аналіз отриманих даних за результатами експериментальних досліджень показав: найменший час прогрівання мав місце при прогріванні двигуна в русі, але при цьому було витрачено більшу кількість палива, у порівнянні з іншими методами.

Як і передбачалося, при комбінованому методі прогрівання двигуна автомобіля Daewoo Lanos значення витраченого часу і палива в цьому режимі займали проміжне положення – трохи ближче до значень, отриманих при прогріванні автомобіля в русі.

Для отримання даних, які б могли дозволити провести порівняльний аналіз витрат палива при використанні різних методів прогрівання двигуна автомобіля Daewoo Lanos, з метою визначення оптимального варіанта прогріву, була додана умова для наступного етапу дорожніх випробувань, яка передбачала подолання відстані довжиною 6200 м, з фіксацією необхідного часу на подолання цієї дистанції. Дана дистанція була потрібна для прогрівання двигуна автомобіля в русі.

За результатами цих випробувань встановлено (рис. 4.27).

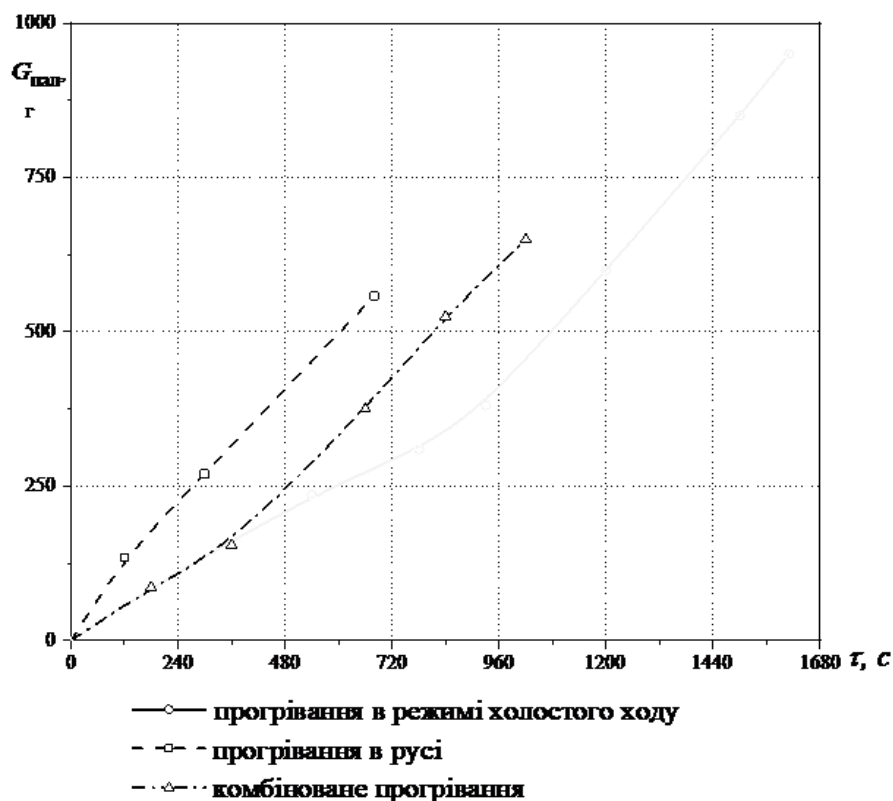


Рисунок 4.27 – Загальні витрати палива при різних методах прогріву автомобіля Daewoo Lanos

На прогрівання двигуна в режимі холостого ходу до температури охолодної рідини 80°C та подолання визначеної дистанції було затрачено 1610 секунд. За цей час, витрата палива становила 0,95 кг.

При прогріванні двигуна в русі (рух автомобіля почався відразу після пуску двигуна) було витрачено – 680 секунд, витрата палива становила 0,558 кг.

При комбінованому прогріванні загальний час (прогрівання двигуна в режимі холостого ходу до температури охолодної рідини близько 60°C та подолання визначеної дистанції) становив 1020 секунди. За цей час, витрата палива становила 0,65 кг.

Таким чином, при використанні комбінованого методу прогрівання витрата палива на 14% більша ніж в русі та на 32% менша в порівнянні з прогрівом в режимі холостого ходу.

За умовами проведення дорожніх випробувань, контроль зміни

концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобіля не проводили. Але для розуміння загальних тенденцій, пов'язаних із зміною концентрації, насамперед, вуглеводнів при використанні різних методів прогрівання, були використані матеріали іншого дослідження [101].

На рис. 4.28 наведено залежності зміни концентрації C_{mH_n} у ВГ двигуна автомобіля, який відповідає вимогам стандарту Євро 4, при прогріванні автомобіля в режимах: холостого ходу, в русі і комбінованим методом.

Концентрація вуглеводнів у ВГ в ході прогрівання двигуна в режимі холостого ходу на всьому інтервалі часу залишається досить високою у зв'язку з низькою температурою відпрацьованих газів.

Різниця концентрацій вуглеводнів у ВГ при прогріванні двигуна в русі і при застосуванні комбінованого методу незначна, але враховуючи, що кількість ВГ при тепловій підготовці двигуна в русі може в 3...4 рази перевищувати їх кількість при прогріванні в режимі холостого ходу, то перевага комбінованого методу стає очевидною. До того ж, при застосуванні комбінованого методу прогрівання з 300-ї секунди спостерігається більш активна робота каталітичного нейтралізатора.

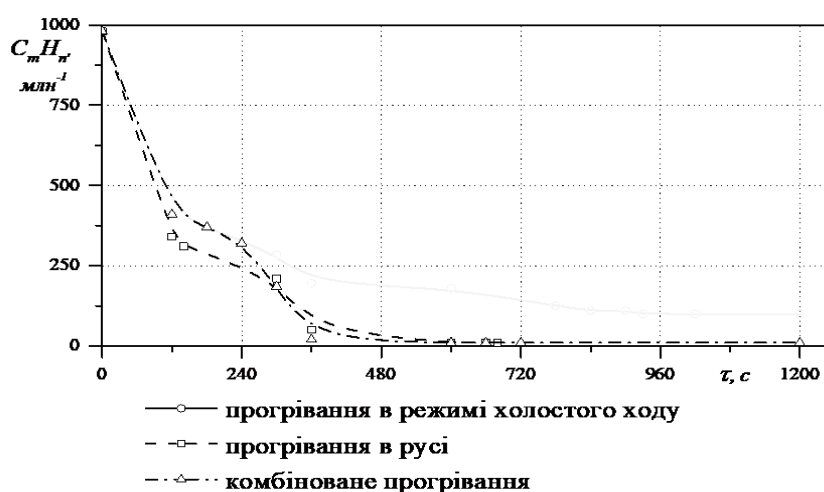


Рисунок 4.28 – Концентрації вуглеводнів у ВГ двигуна, який відповідає вимогам стандарту Євро 4, при різних методах прогріву [101]

З метою визначення паливної економічності та екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні його двигуна в дорожніх умовах з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї провели експериментальні дослідження в м. Києві на ділянці дороги з інтенсивним рухом автомобільного транспорту (рис. 4.29 – рис. 4.30) [102, 103].

Пуск та прогрівання двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 здійснювали при температурі навколишнього повітря близько мінус 10°C (рух автомобіля почався відразу після пуску двигуна), до досягнення температури оливи в картері двигуна 60°C.

Без застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП під час дорожніх випробувань були отримані наступні дані. Час прогріву склав – 840 секунд, при цьому було витрачено – 0,75 літрів бензину. За цей час автомобіль подолав 7000 м (рис. 4.29).

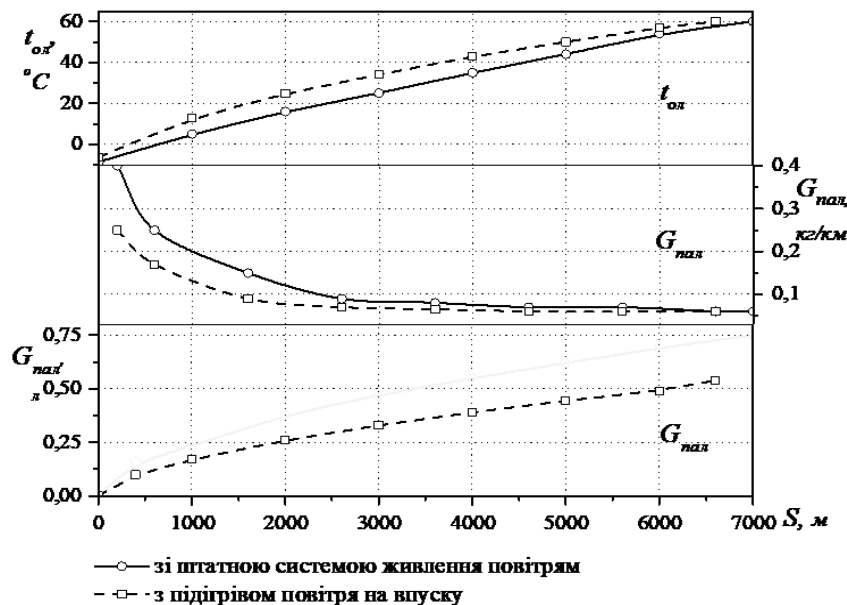


Рисунок 4.29 – Зміна показників роботи двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 в режимі прогрівання в дорожніх умовах в залежності від пройденого автомобілем шляху

При застосуванні системи підігріву повітря на впуску з ТАФП, при тих же дорожніх і кліматичних умовах результати дорожніх випробувань

показали, що середня температура повітря на впуску зросла до близько 15°C (рис. 4.30). Витрата палива зменшилася на 0,21 л (27,9%). Шлях руху автомобіля на прогрів двигуна скоротився на 400 метрів (5,7%).

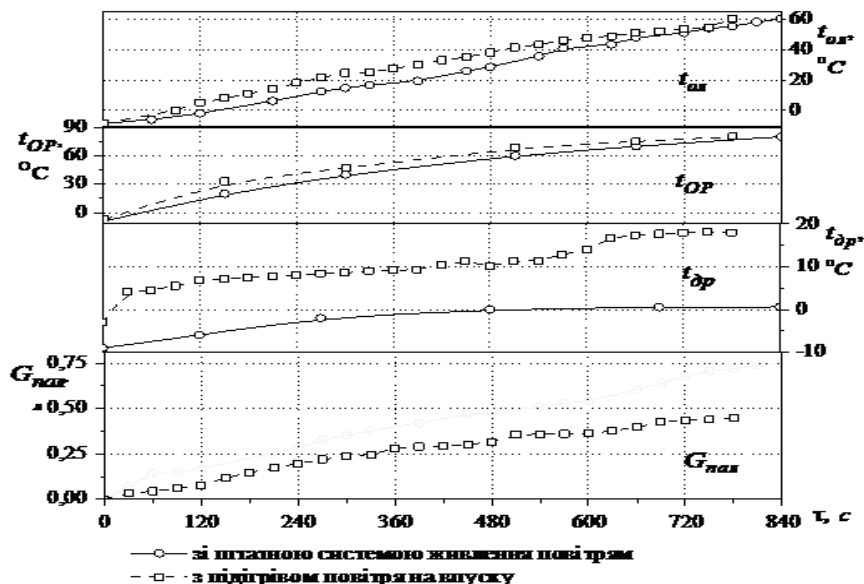


Рисунок 4.30 – Зміна показників роботи двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 в режимі прогрівання в дорожніх умовах в залежності від часу прогрівання

Результати вимірювань концентрацій ШР з ВГ холодного двигуна при його прогріванні в дорожніх умовах газоаналізатором МЕТА обробляли за допомогою програми *OriginPro*. Середньоквадратичні величини концентрацій описуються поліномом четвертого порядку від часу прогрівання.

Аналіз отриманих даних щодо, концентрацій ШР показав (рис. 4.31).

Концентрація оксиду вуглецю у ВГ, без підігріву повітря на впуску стабілізувалася на рівні 4% на 480 секунд і тільки на 840 секунд після пуску досягла рівня 1,35%, з підігрівом повітря на рівні 1...1,5% на 390 секунд. Концентрація двооксиду вуглецю у ВГ, як з підігрівом повітря на впуску, так і зі штатною системою практично зрівнялися на рівні 9...10% через 330 секунд після пуску холодного двигуна.

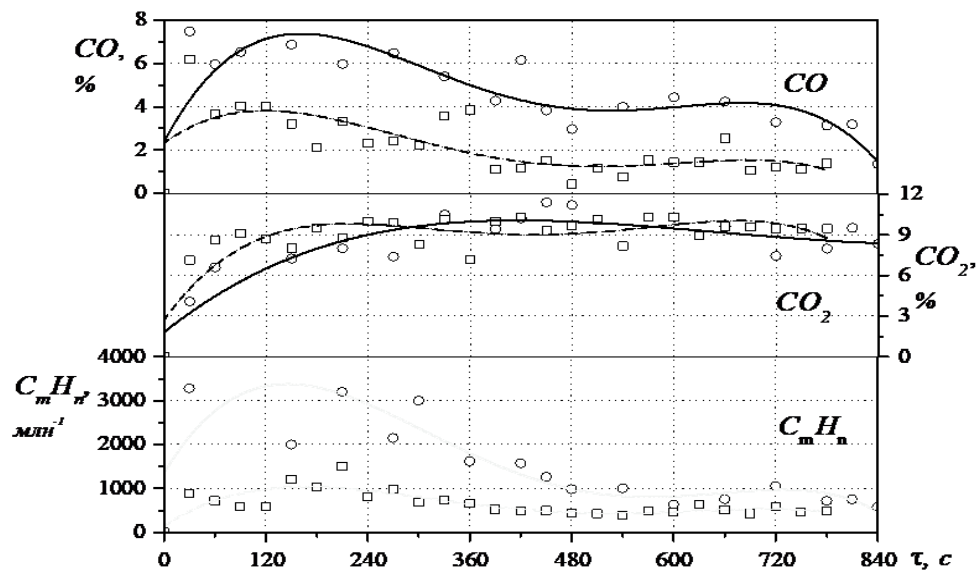


Рисунок 4.31 – Концентрації ШР у ВГ двигуна автомобіля ЗАЗ-1102
в режимі прогрівання в дорожніх умовах

експериментальні значення:

- зі штатною системою живлення повітрям
- з підігрівом повітря на впуску

апроксимація отриманих значень:

- зі штатною системою живлення повітрям
- з підігрівом повітря на впуску

Концентрація вуглеводнів у ВГ в режимі прогрівання двигуна з підігрівом повітря на впуску була значно меншою, стабілізація відбулася після 240 секунди і до закінчення прогріву становила близько 500...600 млн⁻¹, тоді як при роботі зі штатною системою стабілізація спостерігається після 480 с на рівні 900 млн⁻¹ і до закінчення прогріву становила близько 600 млн⁻¹.

4.7 Похибки приладів і вимірювань в процесі експериментальних випробувань

Оцінку похибок вимірювань під час проведення експериментальних досліджень проводили за методиками, які визначені у літературі [91, 104, 105]. Використані під час проведення експериментів прилади і вимірювальна апаратура за своїми властивостями відповідають вимогам [106] щодо засобів вимірювальної техніки та обладнання і дозволяють отримати достовірні показники роботи об'єктів досліджень.

За прямими та непрямыми одноразовими вимірюваннями похибки визначалися похибками приладів.

В табл. 4.12 наведено дані вимірювальної апаратури і приладів, які використовували під час проведення випробувань, стосовно показників їх точності.

Таблиця 4.12 – Засоби вимірювальної техніки та прилади, які застосовували під час проведення стендових та дорожніх випробувань та показники їх точності

Величина, яка вимірювалась	Розмірність	Засоби вимірювання	Похибка
1	2	3	4
Атмосферний тиск	кПа	Барометр-анероїд БАММ-1	$\pm 0,17 \text{ кПа } (\pm 0,16 \%)$
Відносна вологість повітря	$\%$	Гігрометр психрометричний ВІТ-2	$\pm 5 \dots 7 \%$
Температура повітря	$^{\circ}\text{C}$	Ртутний термометр	$\pm 0,1$
Частота обертання колінч. вала двигуна	хв^{-1}	Електронний цифровий частотомір Ф 5035	± 1
Крутний момент	$\text{Н}\cdot\text{м}$	Пристрій з електронним датчиком	$\pm 0,1$
Витрата палива	г	Ваги	$\pm 0,5$
Витрата повітря	м^3	Газовий лічильник РГ-40-1 кл.6	1,5%
Кут випередження запалювання	град	Стробоскоп ПАС-2	± 1
Час	с	Секундомір	$\pm 0,2$
Розрідження у впускному колекторі	Па ($\text{кгс}\cdot\text{см}^2$)	Вакуумметр зразковий	100 (0,001)
Температура ОР	$^{\circ}\text{C}$	Електронний термометр WSD10	± 1
Температура оливи	$^{\circ}\text{C}$	Електронний термометр WSD10	± 1
Температура ВГ	$\%$	Перетворювачі термоелектричні ТХА	$\pm 0,5$
Тиск оливи в системі змащування	Па ($\text{кгс}\cdot\text{см}^2$)	Манометр кл. 2,5	9800 (ОД)

Продовж. табл. 4.12

1	2	3	4
Концентрація у ВГ вуглеводнів (C_mH_n)	$млн^{-1}$	Газоаналізатор МЕТА Автотест-02	± 20
Концентрація у ВГ оксиду вуглецю (CO)	%		$\pm 0,2$
Концентрація у ВГ двооксиду вуглецю (CO_2)	%		± 1
Концентрація у ВГ оксидів азоту (NO_x)	%	344-ХЛ-14	± 3.0
Витрата палива	%	Витратомір палива ONO SOKKI DF-311 Датчик витратоміра FP-214	$\pm 0,5$

4.8 Висновки до розділу 4

1. Визначені задачі та складена програма експериментальних досліджень, яка включає ряд послідовних етапів, що складаються зі стендових випробувань двигунів з різними системами живлення (MeM3-245 та VW BBY) та автомобілів в дорожніх умовах (Daewoo Lanos та ЗАЗ-1102 «Таврія»).

2. Стендові випробування з визначення впливу температури повітря на впуск двигуна MeM3-245 з карбюраторною системою живлення на паливну економічність та концентрацію ШР у ВГ при його прогріванні в режимі холостого ходу показали що: час прогрівання двигуна при підігріві повітря на впуску зменшився на 12%; паливна економічність поліпшилась на 29,5%.

3. Стендові випробування з визначення впливу температури повітря на впуск на паливну економічність та концентрацію ШР у ВГ сучасного двигуна з іскровим запалюванням VW BBY при його холодному пуску та прогріванні в режимі холостого ходу показали що: час прогрівання двигуна при підігріві повітря на впуску зменшився на 9%; паливна економічність поліпшилась на 22%; підвищення температури ВГ в зоні попереднього КН до $360^{\circ}C$ відбулося на 19% швидше ніж зі штатною системою;

4. Експериментальні дослідження з визначення впливу температури повітря на впуску двигуна MeM3-245 автомобіля ЗАЗ-1102 при його прогріванні в режимі холостого ходу на паливну економічність та концентрацію шкідливих речовин у ВГ показали що: час прогрівання двигуна при підігріві повітря на впуску зменшився на 19%; паливна економічність поліпшилась на 20%.

5. Проведені дослідження ТАФП, який виготовлений на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» НТУ з участю працівників Інституту газу НАН України, в якому в якості ТАМ використано октагидрат гідроксиду барію. Отримані результати досить переконливо свідчать про можливість використання ТАФП для поліпшення паливної економічності і екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря, тому що при використанні ТАМ з фазовим переходом забезпечується висока щільність енергії, що запасається, стабільна температура на виході з ТА і досить тривалий час зберігання акумульованої теплової енергії.

6. Експериментальні дослідження з визначення впливу температури повітря на впуску на паливну економічність та концентрацію ШР у ВГ сучасного двигуна з іскровим запалюванням VW BBY при холодному пуску і прогріванні в режимі, якій відповідає середній точці Європейського міського їздового циклу показали наступне: час прогрівання двигуна при підігріві повітря на впуску зменшився на 6%; паливна економічність поліпшилась на 19%; підвищення температури ВГ в зоні попереднього КН до 360°C відбулося на 18% швидше ніж зі штатною системою.

7. Отримані під час дослідження дані про витрату палива при застосуванні різних методів прогрівання двигуна автомобіля Daewoo Lanos в умовах низьких температур навколишнього повітря та з урахуванням даних джерела [101], досить переконливо свідчать про доцільність використання комбінованого методу прогрівання двигуна автомобіля за наступною методикою – «Пуск холодного двигуна» - «Прогрівання в режимі холостого

ходу» (до температури охолодної рідини близько 50...60°C) - «Подальший прогрів двигуна в русі», який забезпечує оптимізацію витрат паливно-енергетичних ресурсів і мінімальні концентрації ШР в ВГ двигуна в режимі прогрівання.

8. Експериментальні дослідження з визначення впливу температури повітря на впуску двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 при його прогріванні в дорожніх умовах на паливну економічність та ШР у ВГ показали що: шлях руху автомобіля на прогрів двигуна скоротився на 6%; витрата палива з використанням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП зменшилася на 28%.

РОЗДІЛ 5

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ СИСТЕМИ
ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ НА ВПУСКУ З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ
ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА
ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

**5.1 Двигун автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія», як джерело енергії,
викидів шкідливих речовин та споживач палива і повітря в режимі його
прогрівання із використанням системи підігріву повітря на впуску з
тепловим акумулятором фазового переходу та без неї**

Аналіз літературних джерел з питань з розрахунку транспортних витрат, пов'язаних з автомобільними перевезеннями, показав, що серед статей видатків найбільші витрати припадають на паливно-мастильні матеріали (ПММ). Отже, для прогнозування витрат ПММ в процесі перевезень автомобільним транспортом важливо використовувати методику їх розрахунку, в певних умовах експлуатації автомобіля [107 – 109].

У зв'язку з цим, роботи, які спрямовані на дослідження та обґрунтування методик, пов'язаних з прогнозуванням витрат, насамперед палива, є актуальними і залишаються пріоритетними напрямками. Необхідно зазначити, що витрата палива на автомобільні перевезення залежить від конструктивних параметрів автомобіля і експлуатаційних факторів. На витрату палива особливий вплив чинять дорожні та природно-кліматичні умови експлуатації.

Більш 80% факторів, які впливають на витрату палива автомобілем, є контрольованими і мають незначні відхилення до 2...3% [109]. Однак, не контрольовані чинники, такі як дорожні та природно-кліматичні умови, не можуть бути враховані в розрахунках з достатнім ступенем достовірності.

Як зазначалось раніше, на показники роботи двигуна в режимі прогрівання впливає багато факторів, врахувати які практично неможливо.

Тому в методиці запропоновано оцінювати температурний стан двигуна температурою оливи системи мащення, а зміну паливної економічності в процесі прогрівання двигуна оцінювати коефіцієнтом температурного впливу.

За результатами дорожніх випробувань автомобіля ЗАЗ-1102 отримана залежність цього коефіцієнта від температури оливи в системі мащення двигуна (рис. 5.1). Ця залежність отримана за результатами опрацювання даних щодо витрати бензину на одиницю пробігу в режимі прогрівання двигуна, як з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП, так і без неї.

Експериментальні точки, які отримані для різних температур оливи з використанням даних дорожніх випробувань використовували для визначення коефіцієнта температурного впливу:

$$K_t = G_{нал\ i} / G_{нал\ пр}, \quad (5.1)$$

де $G_{нал\ i}$ – витрата бензину на одиницю пробігу автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі прогрівання двигуна, кг/км;

$G_{нал\ пр}$ – витрата бензину на одиницю пробігу цього автомобіля з прогрітим двигуном, кг/км.

За результатами опрацювання отриманих значень за допомогою програми *OriginPro* отримали поліном четвертого степеня, що описує зміну коефіцієнта температурного впливу від температури оливи в системі мащення двигуна (табл. 5.1 та рис. 5.1):

$$K_t = 4,98294 + B1 \cdot t_{ол} + B2 \cdot t_{ол}^2 + B3 \cdot t_{ол}^3 + B4 \cdot t_{ол}^4, \quad (5.2)$$

де $t_{ол}$ – температура оливи в системі мащення двигуна.

Таблиця 5.1 – Значення коефіцієнтів полінома

B1	B2	B3	B4
-0,26711	0,00721	-9,40101E-5	4,93107E-7

Коефіцієнт достовірності апроксимації - 0,99764.

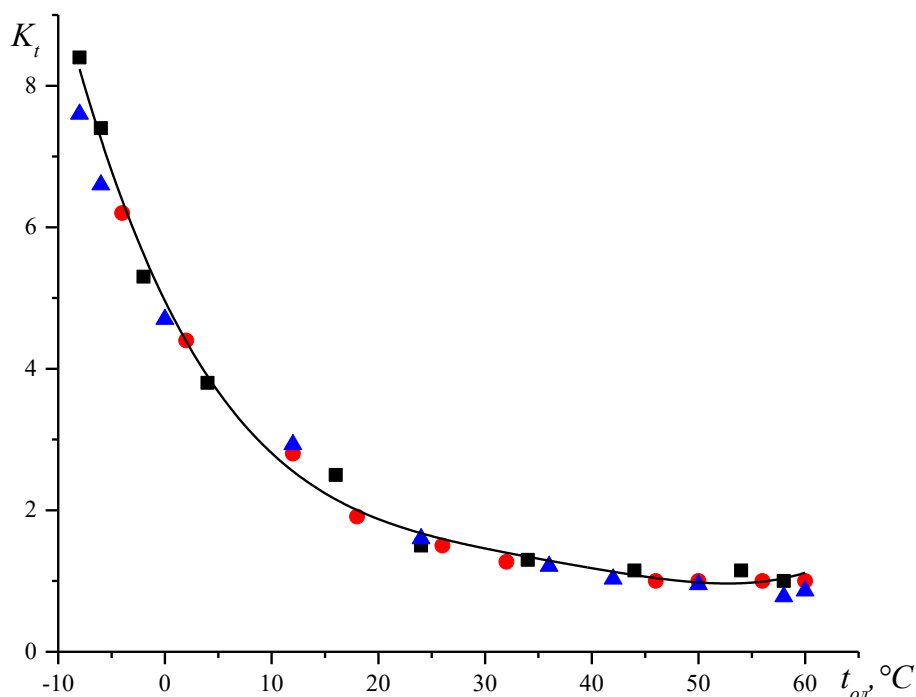


Рисунок 5.1 – Залежність коефіцієнта температурного впливу від температури оливи в системі мащення двигуна автомобіля ЗАЗ-1102

«Таврія»:

- дорожні випробування зі штатною системою живлення повітрям;
- ▲ дорожні випробування з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП;
- дослідження інших авторів [84, 85];
- результати розрахунків.

5.2 Результати розрахунків на математичній моделі умовного руху автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» за режимами Європейського міського їздового циклу при прогріванні його двигуна із використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї

Для оцінювання очікуваної економії бензину при застосуванні системи підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї визначили паливну економічність автомобіля в умовному русі за Європейським міським їздовим циклом.

Експериментально визначену закономірність зміни температури оливи в системі мащення двигуна в процесі руху автомобіля в дорожніх умовах з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї побудували на графіку середньої годинної витрати бензину в Європейському міському їздовому циклі (рис. 5.2) за температури навколишнього повітря мінус 10°C з нанесеним окремо графіком годинної витрати палива при прогрітому двигуні.

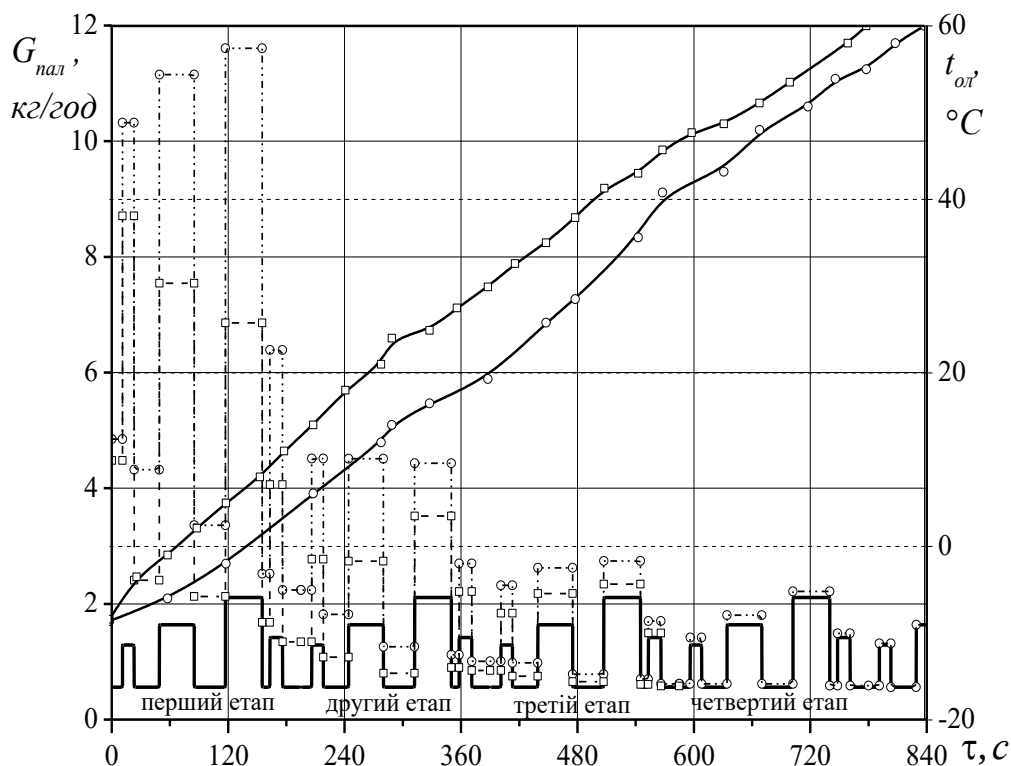


Рисунок 5.2 – Закономірність зміни температури оливи в системі мащення та годинної витрати бензину від часу руху автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» за Європейським міським їздовим циклом в режимі прогрівання:

- зміна температури оливи з системою підігріву повітря на впуску;
- зміна температури оливи зі штатною системою живлення повітрям;
- зміна годинної витрати палива з системою підігріву повітря на впуску;
- зміна годинної витрати палива зі штатною системою живлення повітрям;
- годинна витрата палива при прогрітому двигуні.

Перевірку адекватності уточненої математичної моделі проводили порівнянням розрахункових показників роботи двигуна автомобіля в

умовному русі за Європейським міським їздовим циклом з експериментально отриманими при аналогічних умовах руху.

За розподілом годинної витрати бензину автомобілем з прогрітим двигуном та зміною температури оливи в системі мащення з використанням коефіцієнта температурного впливу (рис. 5.1) розраховували годинні витрати бензину двигуном за використання системи підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї за залежністю:

$$G_{\text{пал } i} = K_t \cdot G_{\text{пал пр}} \quad (5.3)$$

Підтвердженням такого підходу можуть бути близькі значення витрати палива на 1 км в умовному русі за Європейським міським їздовим циклом і в дорожніх умовах.

За результатами розрахунків отримали наступне: застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП питома витрата палива автомобілем складає 100 г/км, без неї – 129 г/км.

Таким чином, застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП, при температурі навколишнього повітря мінус 10°C, дозволяє очікувати, за результатами розрахунків, поліпшення паливної економічності автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі прогрівання в дорожніх умовах на 22,5%.

За результатами дорожніх випробувань автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» (рис. 4.30) отримали наступне: при застосуванні системи підігріву повітря на впуску питома витрата палива автомобілем складає 103 г/км без її використання – 135 г/км. Тобто, застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП дозволила поліпшити паливну економічність двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі прогрівання в русі на 23,7%. Розбіжність експериментальних і розрахункових значень витрати палива склала близько 5%.

Можливість прийнятого підходу до визначення очікуваної витрати палива автомобілем в процесі прогрівання двигуна також підтверджують

розрахунки з використанням даних, отриманих в інших дослідженнях [84]. На рис. 5.3 показана експериментальна крива зміни температури оливи в системі мащення двигуна в русі автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» за температури навколишнього повітря 18°C.

Температура оливи двигуна в русі за Європейським міським їздовим циклом за умовного пробігу 1,75 км досягла 60°C. Експериментально визначена питома витрата бензину склала 115 г/км, розрахована з використанням коефіцієнту температурного впливу 117 г/км, різниця складає 1,7% тобто результати практично збігаються, що підтверджує можливість такого підходу до визначення оцінки ефективності застосованої системи підігріву повітря на впуску з ТАФП.

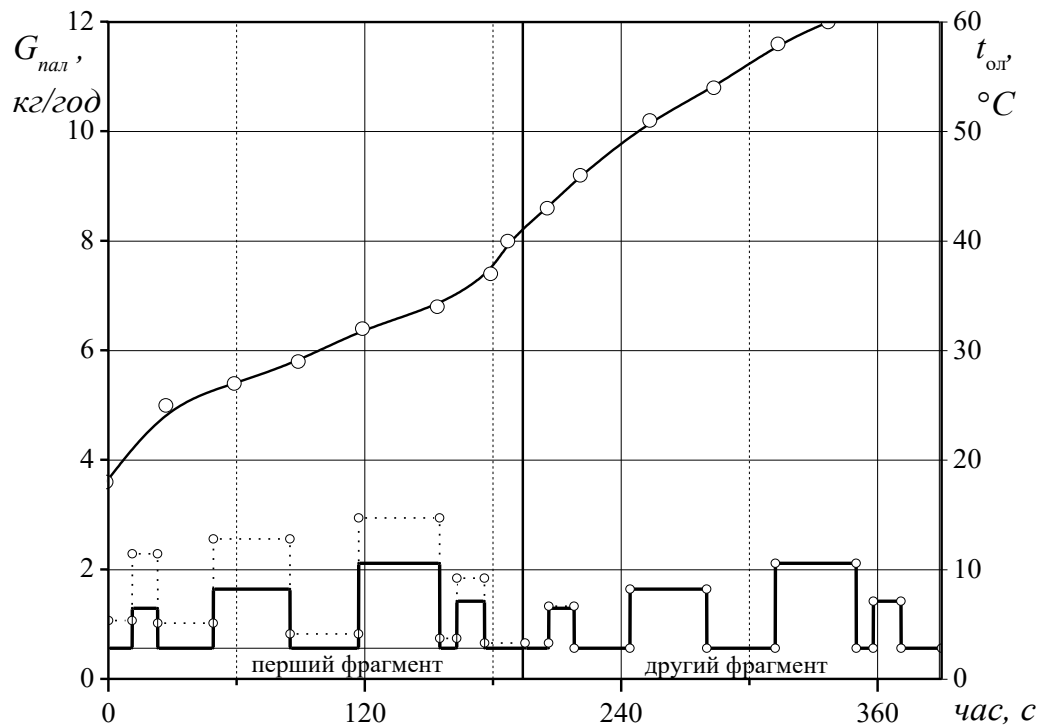


Рисунок 5.3 – Експериментальна крива зміни температури оливи в системі мащення двигуна та розрахована залежність величини годинної витрати палива в русі автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» за режимами Європейського їздового цикла [84]:

- зміна температури оливи в картері двигуна за результатами стендових випробувань;
- зміна годинної витрати палива за результатами розрахунків

Таким чином експериментальні та розрахункові дослідження показали, що використання системи підігріву повітря на впуску з ТАФП дозволяє поліпшити паливну економічність за руху автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі прогрівання при температурі навколишнього повітря мінус 10°C в середньому на 23%.

5.3 Екологічна оцінка впливу двигуна автомобіля на навколишнє середовище при прогріванні його із використанням системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу та без неї

Концентрації ШР у ВГ не характеризують повною мірою шкідливий вплив двигуна автомобіля на довкілля, важливим є кількість ШР, що надходить в навколишнє середовище яка залежить від кількості продуктів згорання, що утворюються в циліндрах двигуна – тобто масові викиди ШР.

Для розрахунків масових викидів ШР двигуна з живленням бензином скористалися математичними залежностями, наведеними в роботі [110]:

- масові викиди оксиду вуглецю:

$$G_{CO} = C_{CO} / 100 \cdot \mu_{CO} \cdot (0,022597 \cdot (6,104 \cdot G_{нал} + G_{нов})), \quad (5.4)$$

де C_{CO} – концентрація оксиду вуглецю у ВГ, %;

μ_{CO} – молекулярна маса оксиду вуглецю, кг/кмоль;

- масові викиди вуглеводнів:

$$G_{CmHn} = C_{CmHn} \cdot 0,000001 \cdot \mu_{CmHn} \cdot (0,02259 \cdot (6,104 \cdot G_{нал} + G_{нов})), \quad (5.5)$$

де C_{CmHn} – концентрація вуглеводнів у ВГ, %;

μ_{CmHn} – молекулярна маса вуглеводнів, кг/кмоль;

- масові викиди оксидів азоту:

$$G_{NOx} = C_{NOx} \cdot 0,000001 \cdot \mu_{NO_2} \cdot (0,027 \cdot (5,31 \cdot G_{нал} + G_{нов})), \quad (5.6)$$

де C_{NOx} – концентрація оксиду азоту у ВГ, %;

μ_{NO_2} – молекулярна маса оксиду азоту, кг/кмоль.

За масовими викидами окремих шкідливих компонентів ВГ розраховували сумарні масові викиди ШР, зведені до CO, з врахуванням коефіцієнтів відносної агресивності ШР за математичною залежністю:

$$G_{\Sigma CO} = G_{CO} + 3,16 \cdot G_{CmHn} + 41,1 \cdot G_{NOx} \quad (5.7)$$

Для визначення впливу підігріву повітря на впуску на початок ефективних окиснювально-відновних реакцій в попередньому КН двигуна VW BBY порівнювали коефіцієнт ефективності перетворення i -ї шкідливої речовини у ВГ двигуна. Вимірювання концентрацій ШР у ВГ виконували до і після попереднього КН з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї. Оцінку ефективності роботи попереднього КН здійснювали за коефіцієнтом ефективності знешкодження i -ї шкідливої речовини.

Коефіцієнт ефективності знешкодження i -ї шкідливої речовини розраховували за залежністю [110]:

$$E_i = \frac{C_{id} - C_{in}}{C_{id}} \cdot 100, \quad (5.8)$$

де C_{id} - концентрація i -ї шкідливої речовини до КН;

C_{in} - концентрація i -ї шкідливої речовини після КН.

Використавши математичні залежності (5.4 – 5.7) розраховували масові викиди окремих компонентів (G_{CO} , G_{CmHn} , G_{NOx}), а також сумарні масові викиди ($G_{\Sigma CO}$), зведених до CO, об'єктів дослідження з метою визначення впливу застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї, на екологічні показники (Додаток Е).

Використовуючи експериментальні дані щодо впливу температурного стану двигуна MeM3-245 на концентрації ШР розраховували масові викиди ШР та сумарну токсичність ВГ від часу прогрівання двигуна в режимі холостого ходу (рис. 5.4).

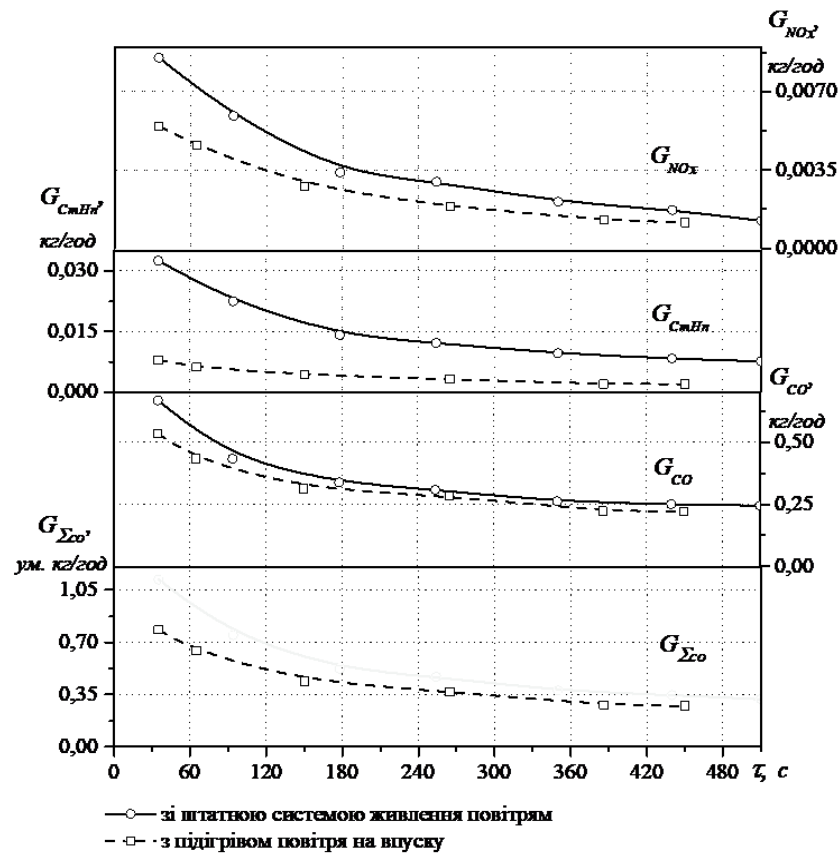


Рисунок 5.4 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогрівання двигуна MeM3-245 в режимі холостого ходу

За результатами експериментальних та розрахункових досліджень встановлено, що під час прогрівання двигуна MeM3-245 в режимі холостого ходу масові викиди ШР з ВГ після КН в середньому, склали, з урахуванням часу прогріву (з підігрівом повітря на впуску - 450 секунд, зі штатною системою - 510 секунд):

- оксиду вуглецю із застосуванням системи підігрівом повітря на впуску з ТАФП – 0,33 кг/год, зі штатною системою – 0,36 кг/год, різниця – близько 6,6%.

- вуглеводнів із застосуванням системи підігрівом повітря на впуску з ТАФП – 0,0043 кг/год, зі штатною системою – 0,015 кг/год, різниця – близько 72%;

- оксидів азоту із застосуванням системи підігрівом повітря на впуску з ТАФП – 0,0029 кг/год, зі штатною системою – 0,0037 кг/год, різниця –

близько 22,5%

Сумарні масові викиди ШР, зведені до СО, в середньому склали, із застосуванням системи підігрівом повітря на впуску з ТАФП – 0,46 ум. кг/год, зі штатною системою - 0,56 ум. кг/год, різниця – близько 16,6%.

Для розрахунку сумарних масових викидів, зведених до СО, сучасного двигуна VW BBY під час його прогрівання до та після попереднього КН використали експериментальні дослідження з впливу підігріву повітря на впуску на його екологічні показники в режимі холостого ходу (рис. 5.5, рис.5.6).

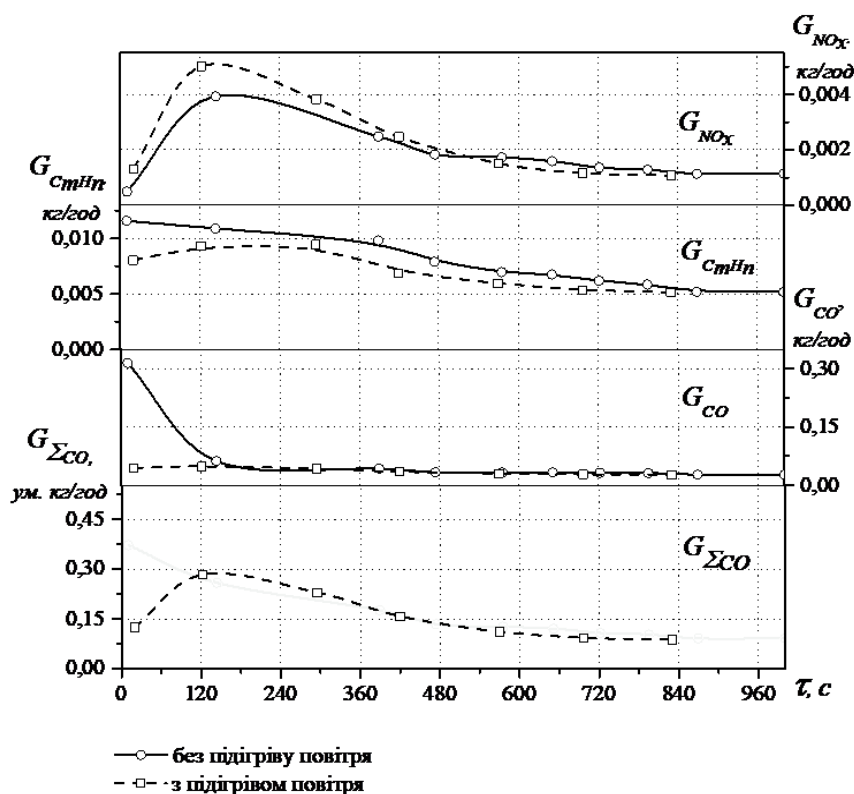


Рисунок 5.5 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогрівання двигуна VW BBY до попереднього КН в режимі холостого ходу

Під час прогрівання двигуна VW BBY в режимі холостого ходу концентрації ШР до попереднього КН в середньому, складали:

- оксиду вуглецю з підігрівом повітря – 0,045 кг/год, зі штатною системою - 0,069 кг/год, різниця – близько 34,5%.

- вуглеводнів з підігрівом повітря – 0,0089 кг/год, зі штатною системою - 0,01 кг/год, різниця – близько 11%;

- оксидів азоту з підігрівом повітря – 0,0034 кг/год, зі штатною системою - 0,0022 кг/год, різниця – близько 35%

Сумарні масові викиди, зведені до CO, в середньому склали, з підігрівом повітря на впуску – 0,21 ум. кг/год, зі штатною системою - 0,19 ум. кг/год, різниця – близько 10,4%.

Під час прогрівання двигуна VW BBY в режимі холостого ходу концентрації ШР після попереднього КН в середньому, складали:

- оксиду вуглецю з підігрівом повітря – 0,018 кг/год, зі штатною системою - 0,041 кг/год, різниця – близько 56,8%.

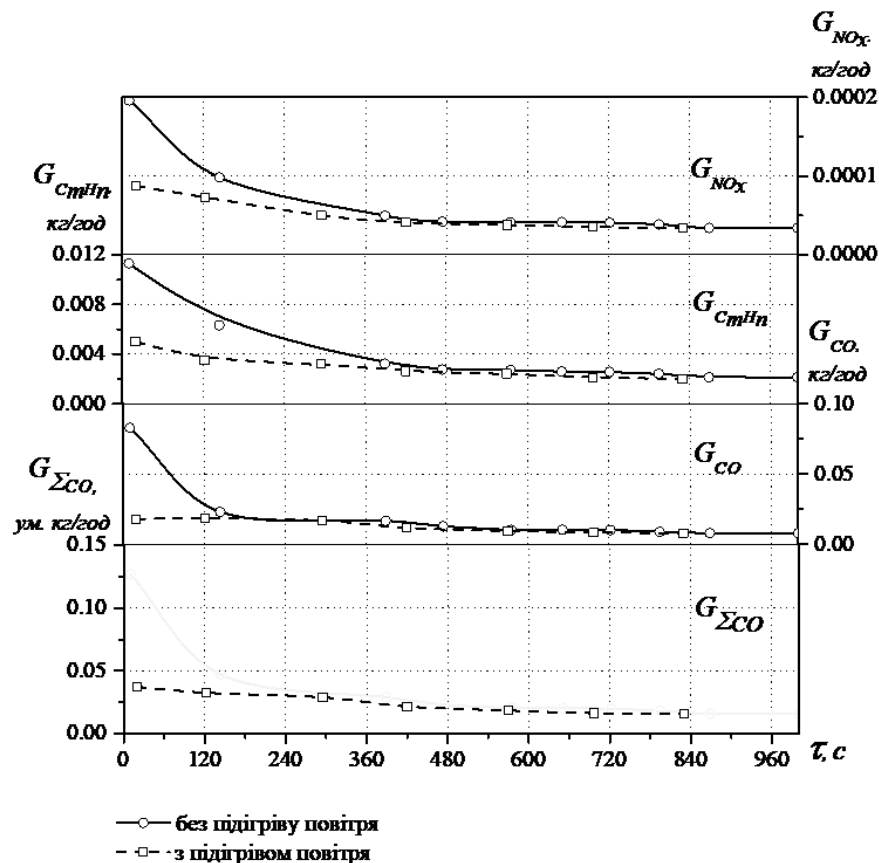


Рисунок 5.6 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогрівання двигуна VW BBY після попереднього КН в режимі холостого ходу

- вуглеводнів з підігрівом повітря – 0,0039 кг/год, зі штатною системою

- 0,0069 кг/год, різниця – близько 43,8%;

- оксидів азоту з підігрівом повітря – 0,00007 кг/год, зі штатною системою - 0,00012 кг/год, різниця – близько 38,9%.

Сумарні масові викиди, зведені до CO, в середньому склали, з підігрівом повітря на впуску – 0,033 ум. кг/год, зі штатною системою - 0,068 ум. кг/год, різниця – близько 51,4%.

Щоб оцінити вплив температури повітря на впуску в режимі прогрівання двигуна VW BBY під навантаженням на екологічні показники провели розрахунки масових викидів ШР в режимі, який відповідає середній точці Європейського міського їздового циклу.

За результатами розрахунку (рис. 5.7) встановлено, що під час прогрівання двигуна VW BBY під навантаженням концентрації ШР в середньому склали:

- оксиду вуглецю з підігрівом повітря – 0,34 кг/год, зі штатною системою - 0,38 кг/год, різниця – близько 11%;

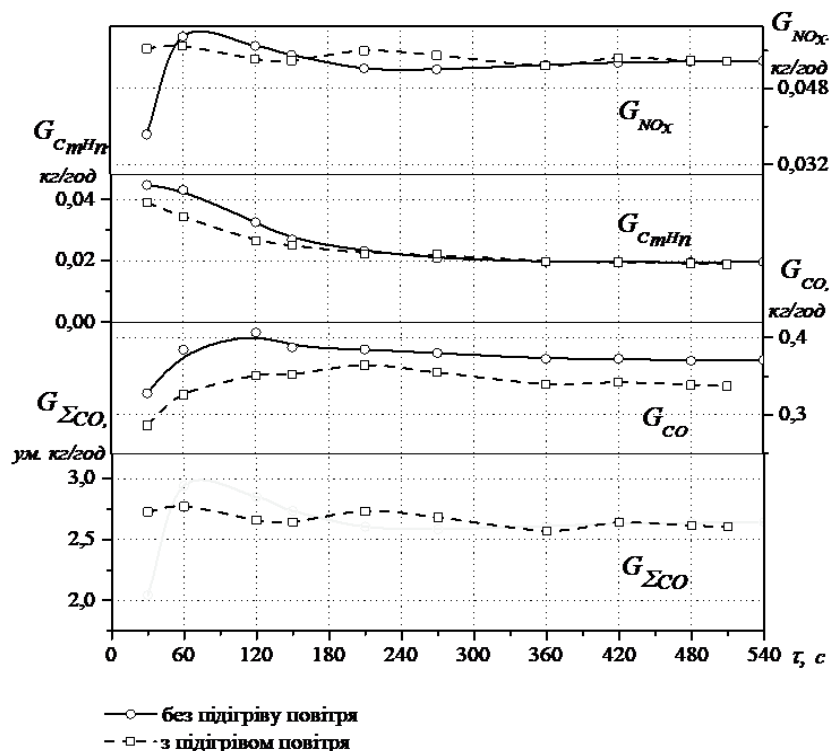


Рисунок 5.7 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогрівання двигуна VW BBY до попереднього КН під навантаженням

- вуглеводнів з підігрівом повітря – 0,029 кг/год, зі штатною системою – 0,034 кг/год, різниця – близько 13,9%;
- оксидів азоту з підігрівом повітря – 0,055 кг/год, зі штатною системою – 0,052 кг/год, різниця – близько 6%.

Сумарні масові викиди, зведені до CO, в середньому, складали, з підігрівом повітря на впуску – 2,7 ум. кг/год, зі штатною системою – 2,6 ум. кг/год, різниця складає близько 3%.

За результатами розрахунків для визначення впливу підігріву повітря на впуск на масові викиди ШР двигуном МеМЗ-245 автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» під час прогрівання в режимі холостого ходу (рис. 5.8) встановлено, що під час прогрівання двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 масові викиди ШР з ВГ, в середньому складали:

- оксиду вуглецю з підігрівом повітря – 0,21 кг/год, зі штатною системою – 0,42 кг/год, різниця – близько 50,9%.
- вуглеводнів з підігрівом повітря – 0,024 кг/год, зі штатною системою – 0,038 кг/год, різниця – близько 3,4%.

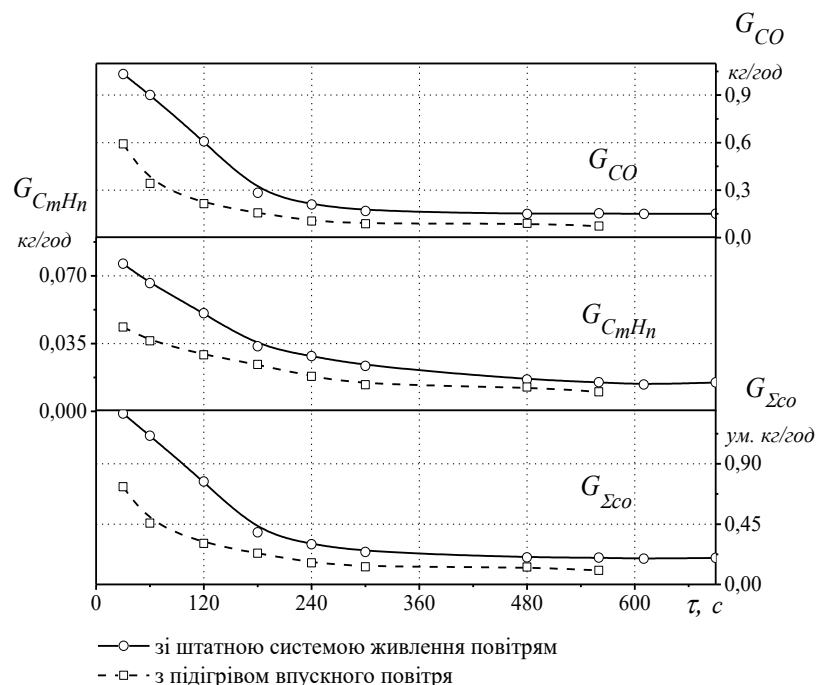


Рисунок 5.8 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від часу прогрівання двигуна МеМЗ-245 автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі холостого ходу

Сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до СО, в середньому склали, з підігрівом повітря на впуску – 0,28 ум. кг/год, зі штатною системою – 0,54 ум. кг/год, різниця – близько 48%.

Для визначення впливу підігріву повітря на впуску на масові викиди ШР при прогріванні двигуна МеМЗ-245 автомобіля ЗАЗ-1102 в дорожніх умовах, провели їх розрахунок.

За результатами розрахунків встановлено (рис. 5.9).

Під час прогрівання двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 в русі, масові викиди ШР з ВГ в середньому складали:

- оксиду вуглецю з підігрівом повітря – 0,039 кг/год, зі штатною системою - 0,085 кг/год, різниця – близько 54%.

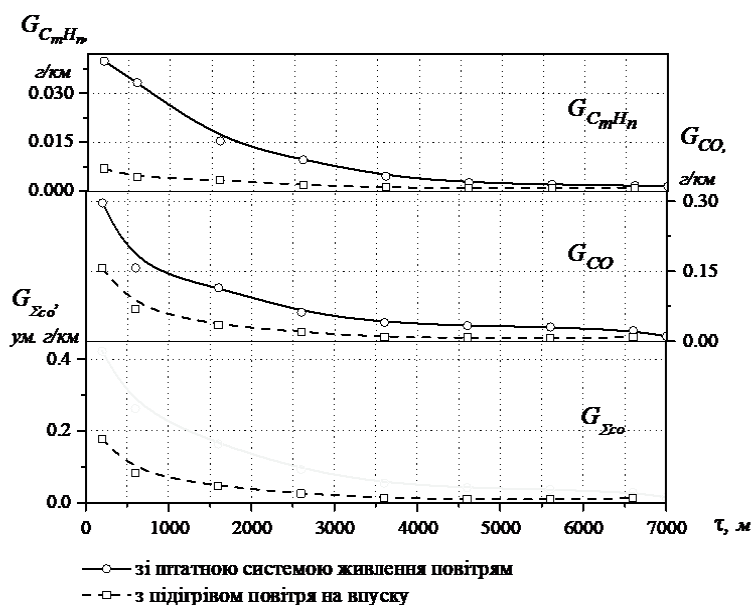


Рисунок 5.9 – Зміни масових викидів ШР та сумарної зведеної токсичності ВГ від пройденого шляху при прогріванні двигуна МеМЗ-245 автомобіля ЗАЗ-1102 в дорожніх умовах

- вуглеводнів з підігрівом повітря – 0,0025 кг/год, зі штатною системою - 0,012 кг/год, різниця – близько 11,4%.

Сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до СО, в середньому склали, з підігрівом повітря на впуску – 0,047 ум. кг/год, зі

штатною системою - 0,12 ум. кг/год, різниця – близько 62%.

5.4 Результати розрахунків функціонування і термодинамічна оцінка ефективності використання теплового акумулятора фазового переходу для прискореного прогрівання холодного двигуна легкового автомобіля

Метою створення математичної моделі функціонування ТАФП є отримання залежностей, за якими можна розрахувати основні теплофізичні характеристики процесів, які відбуваються в ТАФП (зарядження, зберігання теплової енергії, розрядження), а також їх вивчення.

В теперішній час існує декілька методів розрахунку кількості теплової енергії, яка необхідна для теплової підготовки ДВС до прийняття навантаження [111 – 119]. Вони ґрунтуються, по-перше, на різних уявленнях про ДВЗ, як про об'єкт моделювання і по-друге, технічними підходами до теплового впливу на нього [114, 120].

В основу розрахунку системи підігріву повітря на впуску з ТАФП, яка запропонована в даній роботі, покладені математичні залежності процесів зарядки ТАФП, збереження теплової енергії у міжзмінний період і його розрядки (підігрів повітря на впуску). Використані математичні залежності дозволяють провести аналіз функціонування системи "ДВЗ – ТАФП" у вищевказаних процесах (рис. 2.10). Конструкція даної системи дозволяє застосовувати її у трьох режимах роботи:

- I – режим зарядження ТАФП (завдяки тепловій енергії ВГ ДВЗ);
- II – режим зберігання теплової енергії;
- III – режим розряджання ТАФП (підігрів повітря на впуску ДВЗ).

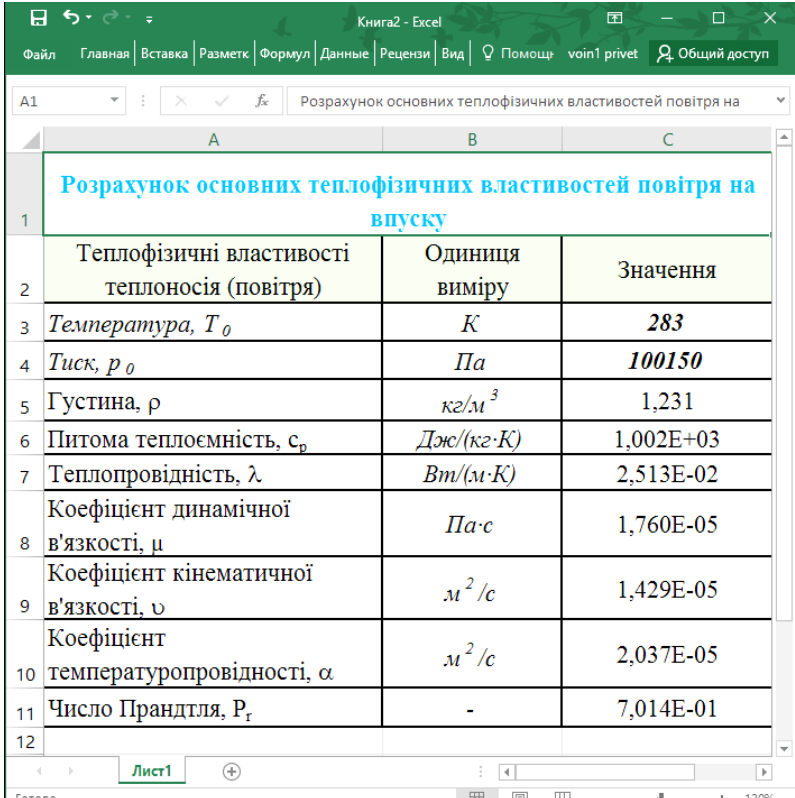
За вхідними параметрами: початкова ($t_{\text{поч}} = t_0$) і кінцева температура ($t_{\text{кін}}$) конструктивних елементів ТАФП; маса ТАМ ($m_{\text{ТАМ}}$); якість теплової ізоляції; розраховано основні теплофізичні характеристики – прогнозовані значення: за кількістю накопиченої теплової енергії Q ; теплової потужності

N ; часу природного охолодження ТАФП у міжзмінний період, через розсіювання певної кількості теплоти в навколишнє середовище.

Розрахунок ТАФП виконано за методикою, яка запропонована в розділі 2.4 даної роботи для двигуна VW BBY та за результатами проведених експериментальних досліджень.

Теплофізичні властивості ТАМ наведені в табл. 2.1 і 2.2. Для визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв (повітря) в ТАФП використані математичні залежності (табл. 2.3).

Для оптимізації проведення розрахунків, з метою визначення теплофізичних властивостей теплоносіїв виходячи з температури навколишнього повітря і атмосферного тиску створено відповідне програмне забезпечення в *Microsoft Excel* пакету прикладних програм *Microsoft Office* (рис. 5.10)



	Теплофізичні властивості теплоносія (повітря)	Одиниця виміру	Значення
1	Розрахунок основних теплофізичних властивостей повітря на впуску		
2	Температура, T_0	K	283
3	Тиск, p_0	$Па$	100150
4	Густина, ρ	$кг/м^3$	1,231
5	Питома теплоємність, c_p	$Дж/(кг \cdot K)$	1,002E+03
6	Теплопровідність, λ	$Вт/(м \cdot K)$	2,513E-02
7	Коефіцієнт динамічної в'язкості, μ	$Па \cdot c$	1,760E-05
8	Коефіцієнт кінематичної в'язкості, ν	$м^2/c$	1,429E-05
9	Коефіцієнт температуропровідності, α	$м^2/c$	2,037E-05
10	Число Прандтля, Pr	-	7,014E-01
11			
12			

Рисунок 5.10 – Вигляд вікна програми для визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв (повітря)

Теплове навантаження ТАФП (кількість теплоти, переданої від

гарячого теплоносія до холодного в одиницю часу), визначали за рівнянням теплового балансу (2.1).

Використовуючи математичні залежності (2.5, 2.6), отримали наступний вигляд рівняння теплового балансу ТАФП:

$$Q = G_{ТАМ} \cdot c_{тф} \cdot (t_{фн} - t_0) + G_{ТАМ} \cdot r_{фн} + G_{ТАМ} \cdot c_{рф} \cdot (t_{кін} - t_{фн}) + G_{м} \cdot c_{м} \cdot (t_{кін} - t_0) - \alpha_{із} \cdot F_{нов} \cdot (t_n - t_0) \cdot \tau, \quad (5.9)$$

де $t_{фн}$ – температура зміни агрегатного стану ТАМ (фазового переходу), °С;

t_n – температура поверхні ТАФП, °С;

$c_{рф}$ – теплоємність рідкої фази ТАМ, кДж/(кг·К);

$c_{тф}$ – теплоємність твердої фази ТАМ, кДж/(кг·К);

$\alpha_{із}$ – коефіцієнт теплопередачі від поверхні ТАФП у навколишнє середовище крізь теплоізоляційний матеріал, кДж/м²·час·°С;

$F_{нов}$ – площа поверхні теплообміну ТАФП з навколишнім середовищем, м²;

$r_{фн}$ – питома теплота плавлення ТАМ, кДж/кг.

В реальних умовах експлуатації в двигуні з іскровим запалюванням співвідношення парової і рідкої фаз, в умовах випаровування бензину у впускному колекторі, змінюється в досить широких межах (залежить від фізичних властивостей повітря - температури, тиску, густини, стану палива – температури, кінематичної в'язкості).

Для ДВЗ з живленням рідким паливом, різниця у величині коефіцієнта наповнення η_v , розрахованого з умов, що свіжим зарядом є повітря або паливоповітряна суміш, незначна і складає менше 0,5% [121], тому для всіх типів двигунів η_v визначають за повітрям.

Визначення необхідної кількості теплоти для нагрівання повітря, що надходить у впускний колектор при постійній температурі і тиску, (дані експерименту):

Температура навколишнього повітря (t_0) $t_{min} = 10^\circ\text{C}$, температура на

виході з ТАФП $t_{max} = 67^{\circ}\text{C}$, витрата палива в процесі прогрівання системи охолодження до температури 85°C склала, при підігріві повітря на впуску $G_{nal} = 0,193$ кг. Час прогрівання двигуна $\tau = 830$ с, паливо А-95, $l_0 = 14,70$, $p_{BK} = 33,3$ кПа.

Маса повітря, що розрахована при проведенні експерименту для забезпечення роботи двигуна в режимі прогрівання $G_{нов} = 2,837$ кг.

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання розрахованої маси повітря, визначали за залежністю (2.5).

В результаті розрахунку отримали: $Q = 162,03$ кДж

Визначення необхідної кількості ТАМ для забезпечення заданої постійної температури на виході з ТАФП в режимі прогрівання двигуна в наслідок теплоти фазового переходу ТАМ:

$$m_{ТАМ} = Q / \lambda_{пл}, \quad (5.10)$$

де Q – теплове навантаження ТА, Дж;

$m_{ТАМ}$ - вага ТАМ, кг;

$\lambda_{пл}$ – питома теплота фазового переходу ТАМ, Дж/кг.

В результаті розрахунку отримали: $m_{ТАМ} = 0,607$ кг.

Визначення середнього температурного напору Δt .

Виходячи з того, що $t_{max}/t_{min} > 2$ використовували залежність (2.8)

В результаті розрахунку отримали: $\Delta t = 31^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок площі поверхні теплопередачі (внутрішня) від ТАМ до повітря на впуску, крізь циліндричну стінку $F_{вн}$.

Кількість теплоти, переданої в одиницю часу від ТАМ до холодного теплоносія крізь циліндричну стінку, яка їх розділяє, поверхнею $F_{вн}$ визначали з основного рівняння теплопередачі (2.11).

Рівняння (2.11) застосовується для розрахунку необхідної площі поверхні теплопередачі при відомих значеннях теплового навантаження теплообмінного апарату Q , середньої різниці температур теплоносіїв Δt і

коефіцієнта теплопередачі k .

Коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку пов'язаний з коефіцієнтами тепловіддачі виразом (2.12).

Для оціночних (наближених) розрахунків ТАФП або, коли немає достатньо точних методів розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі, значення коефіцієнта теплопередачі знаходять за наближеними емпіричними математичним залежностям і графіками або, як зазначалося раніше, на основі експериментальних досліджень.

Рекомендовані в літературі [118 – 120] для наближених розрахунків практичні значення коефіцієнта теплопередачі для проектного ТАФП знаходяться в межах $5...60 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$. З метою уточнення значення коефіцієнта теплопередачі від ТАМ до повітря крізь тонкостінну трубку (нагрівання газу (повітря) низького тиску) використали експериментальні дослідження ТАФП [47]. Перетворивши вираз (2.11) розраховали експериментальне значення коефіцієнта теплопередачі $k = 14,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$.

Далі розраховали необхідну площу поверхні теплопередачі $F_{\text{вн}} = 0,45 \text{ м}^2$.

Виходячи з отриманої площі внутрішньої поверхні теплообміну та характеристик трубки: зовнішній діаметр $d_n = 0,01 \text{ м}$, товщина стінки трубки $\delta = 0,001 \text{ м}$ і внутрішній діаметр трубки $d_{\text{вн}} = (d_n - 2\delta) = 0,008 \text{ м}$, за виразом (2.13) визначили загальну довжину теплообмінної трубки $L_{\text{тр}} = 17,6 \text{ м}$.

Виходячи з прийнятої з конструкційних міркувань довжини одиничної трубки $l_{\text{тр}} = 0,26 \text{ м}$, за виразом (2.14) визначили загальне число трубок для забезпечення необхідного теплообміну $n = 68 \text{ шт.}$

Багатоходові теплообмінні апарати застосовують для збільшення швидкості руху теплоносія всередині трубок. Швидкість руху теплоносія в трубках зростає із зменшенням площі поперечного перерізу для проходження теплоносія.

Розрахунок геометричних розмірів корпусу теплового акумулятора проводили виходячи з отриманих значень мінімальної кількості ТАМ, внутрішньої площі поверхні теплообміну, кількості теплообмінних трубок та

обраної конструкції теплового акумулятора.

Метою розрахунку корпусу ТАФП є підбір матеріалу з якого виготовлені трубки і листи металевго корпусу, розрахунок внутрішнього об'єму для заповнення ТАМ.

В якості матеріалу металу для виготовлення корпусу і трубок ТАФП використали нержавіючу сталь марки 12X18H10T (табл. 5.2). Дана марка сталі витримує температуру до 850°C.

Основна перевага цієї марки металу – висока корозійна стійкість. Легко піддається зварюванню, різанню, стійка до високих температур, несприйнятлива до хімічних впливів. Вироби зі сталі марки 12X18H10T, відрізняються тривалим терміном служби, пластичністю і високою міцністю, що дозволяє виготовляти з неї складні деталі методом деформації [125].

Таблиця 5.2 – Фізичні властивості матеріалу 12X18H10T

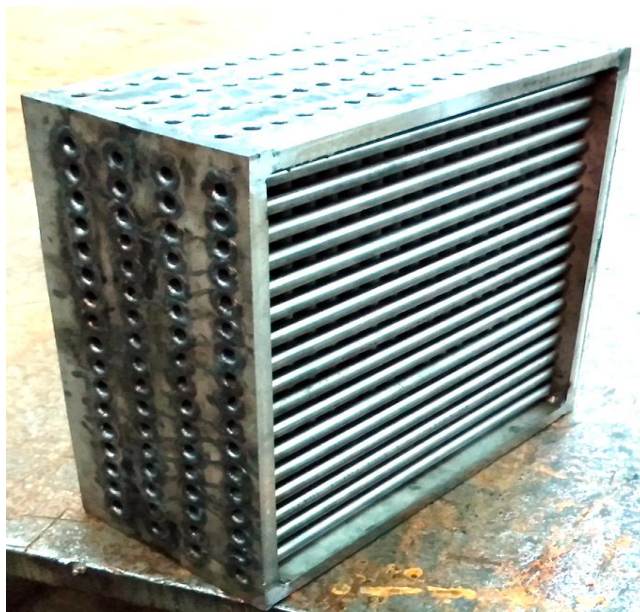
Температура випробування Δt	Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$	Коефіцієнт теплопровідності λ	Щільність ρ	Питома теплоємність c_p
°C	Град ⁻¹	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)
20...100	15,7...16,6	15...16,3	7920...7900	462...504

За результатами розрахунків встановили об'єм для заповнення ТАМ. Він становить 0,006349 м³. Маса ТАМ, якою може бути заповнений розрахований об'єм становить від 6,5 до 12,5 кг, залежно від щільності заповнення (питомої ваги ТАМ).

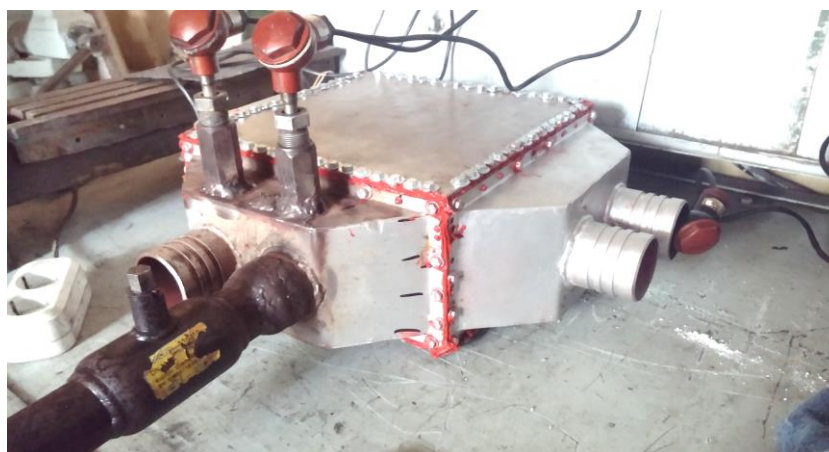
Розрахункова вага металевої конструкції ТАФП (рис. 5.11а) без урахування ваги ТАМ становить близько 32 кг, загальна вага – ТАПФ близько 36 (рис. 5.11б).

Розрахунок теплової ізоляції передбачає вибір теплоізоляційного матеріалу та необхідної товщини шару, що покриває зовнішню поверхню теплового акумулятора з метою зниження теплових втрат при міжзмінному

утриманні автомобіля та забезпечення вимог охорони праці при технічному обслуговуванні автомобіля. Температура поверхні шару ізоляції не повинна перевищувати 45°C . Для теплової ізоляції ТАФП застосовували матеріал з низькою теплопровідністю. Збільшення термічного опору теплопередачі дозволяє зменшити теплові втрати ТАФП в навколишнє середовище.



а



б

Рисунок 5.11 – Тепловий акумулятор фазового переходу:

а – внутрішня конструкція (ТАМ розміщується в міжтрубному просторі);

б – загальний вигляд без теплоізоляції.

Теплопровідність сучасних теплоізоляційних матеріалів складає в середньому $0,035 \dots 0,05 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

В якості теплоізоляційного матеріалу використали плиту жорстку теплоізоляційну гідрофобізовану ПЖТЗ-1-14 ТУ88 023.011-93 (табл. 5.3).

Плита виготовлена на основі базальтового волокна товщиною 14 мм. Зв'язуючим матеріалом є бентонітова глина. Матеріал з відмінними теплоізоляційними властивостями, негорючий, екологічно чистий, хімічно стійкий. Температура використання від мінус 269°C до 850°C.

Таблиця 5.3 – Фізичні властивості теплоізоляційного матеріалу ПЖТЗ-1-14

Властивості	Одиниця виміру	Величина
Щільність	кг/м ³	250...300
Теплопровідність при 25°C при 125°C	Вт/(м·К)	не більше 0,040 не більше 0,053

Розрахунок товщини теплоізоляційного шару матеріалу проводили за спрощеною схемою, використовуючи рівняння (2.17).

Коефіцієнт тепловіддачі, який визначає сумарну швидкість перенесення теплоти вільною конвекцією і тепловим випромінюванням від поверхні ізоляції (для $t_{iz} < 150^\circ\text{C}$) до повітря для теплових акумуляторів, розраховано за наближеним рівнянням (2.18).

$$\alpha_n = 8,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \text{ тоді } \delta = 0,01 \text{ м.}$$

Виходячи з фізичних характеристик обраного теплоізоляційного матеріалу приймаємо його товщину 0,014 м.

Для уточнення маси ТАМ провели розрахунок теплових втрат в режимі зберігання теплової енергії у міжзмінний період.

Для визначення теплових втрат в режимі зберігання перерахували зовнішню площу ТА (площу теплообміну з навколишнім середовищем $F_{зов}$), виходячи з товщини підібраного теплоізоляційного матеріалу. Вона склала 0,4 м².

Теплові втрати в режимі зберігання теплоти за 8 год 20 хв можуть скласти:

при $t_0 = 17^\circ\text{C}$ - 1080 кДж;

при $t_0 = 10^\circ\text{C}$ - 1350 кДж;

при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ - 1736 кДж.

Отримані в результаті моделювання дані з прогнозування кількості теплової енергії, яка залишається в ТАФП після режиму зберігання при $t_0 = 10^\circ\text{C}$ протягом 500 хв, дозволяють зробити висновки про можливість використання розрахованого та виготовленого ТАФП, при використанні ТАМ масою 6,5 кг, для прогрівання двигуна за умов експерименту до 4...6 разів без підзарядки.

Для моделювання теплофізичних властивостей ТАФП, виходячи з теплофізичних властивостей ТАМ, його маси і маси конструкції ТАФП, створено відповідне програмне забезпечення в Microsoft Excel пакету прикладних програм Microsoft Office (рис 5.12, рис 5.13)

Дана програма дає можливість при заданих значеннях температур на вході та виході з ТАФП, а також необхідної кількості теплової енергії підібрати речовину ТАМ і його масу.

Розрахунок теплової енергії і теплової потужності ТАФП						
Вихідні дані	Позначення	Одиниця виміру	Значення			
Складові частини ТАФП			Корпус	Теплоаккумуляційний матеріал		
			Сталь	тверда фаза ТАМ	зміна агрегатного стану ТАМ	рідка фаза ТАМ
Процес			нагрев	нагрев	плавлення	нагрев
Питома масова теплоємність	c_p	Дж/(кг·К)	504	1172		2177
	λ	Дж/кг			267000	
Маса складових частин	m	кг	32	6,5	6,5	6,5
Тривалість процесу	τ	хв	500,00	23,17	404,45	72,38
Початкова температура процесу	$t_{\text{вх}}$	$^\circ\text{C}$	65,00	65,00	78,05	78,05
Кінцева температура процесу	$t_{\text{вих}}$	$^\circ\text{C}$	100,00	78,05	78,05	100,00
Результати розрахунків						
Кількість теплової енергії	Q	кДж	564,48	99,41	1735,50	310,60
			2710,00			
Теплова потужність ТАФП	N	кВт	0,019	0,072	0,072	0,072
			0,090			

Рисунок 5.12 – Вигляд вікна програми для моделювання теплофізичних властивостей ТАФП при масі ТАМ 6,5 кг

Конструкція ТАФП дозволяє використовувати ТАМ масою до 12,5 кг. Дана кількість ТАМ теплового акумулятора може забезпечити необхідну температуру повітря на впуску у режимі прогрівання двигуна після перебування автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря (близько мінус 16°C) протягом 15 годин. За цей період теплові втрати ТАФП можуть скласти близько 3800 кДж.

Розрахунок теплової енергії і теплової потужності ТАФП							
Вихідні дані		Позначення	Одиниця виміру	Значення			
Складові частини ТАФП				Корпус	Теплоаккумуляльний матеріал		
				Сталь	тверда фаза ТАМ	зміна агрегатного стану ТАМ	рідка фаза ТАМ
Процес				нагрів	нагрів	плавлення	нагрів
Питома масова теплоємність		c_p	Дж/(кг·К)	504	1172		2177
Питома теплота плавлення ТАМ		λ	Дж/кг			267000	
Маса складових частин		m	кг	32	12,5	12,5	12,5
Тривалість процесу		τ	хв	500,00	23,17	404,45	72,38
Початкова температура процесу		$t_{\text{вх}}$	°C	65,00	65,00	78,05	78,05
Кінцева температура процесу		$t_{\text{вих}}$	°C	100,00	78,05	78,05	100,00
Результати розрахунків							
Кількість теплової енергії		Q	кДж	564,48	191,18	3337,50	597,31
				4690,48			
Теплова потужність ТАФП		N	кВт	0,019	0,138	0,138	0,138
				0,156			

Рисунок 5.13 – Вигляд вікна програми для моделювання теплофізичних властивостей ТАФП при масі ТАМ 12,5 кг

Отримані прогнозовані дані щодо кількості теплової енергії запасеної в ТАФП, дозволяють провести аналіз залежності зміни температури ТАМ заданої маси від кількості підведеної (відведеної) до\від ТАМ теплової енергії в процесі зарядження\розрядження ТАФП (рис. 5.14).

При підведенні деякої кількості теплоти Q_1 до ТАМ, який перебуває в твердій фазі з температурою $T_{\text{поч}}$, він нагрівається до температури $T_{\text{фп}}$. Подальше, підведення теплової енергії в кількості Q_2 спричиняє зміну агрегатного стану ТАМ (плавлення), яке відбувається при постійній температурі $T_{\text{фп}}$ (температури фазового переходу). Далі рідка фаза ТАМ

нагрівається до температури $T_{кін}$, в результаті плавлення твердої фази, з витратою на це кількість теплоти, яке дорівнює Q_3 .

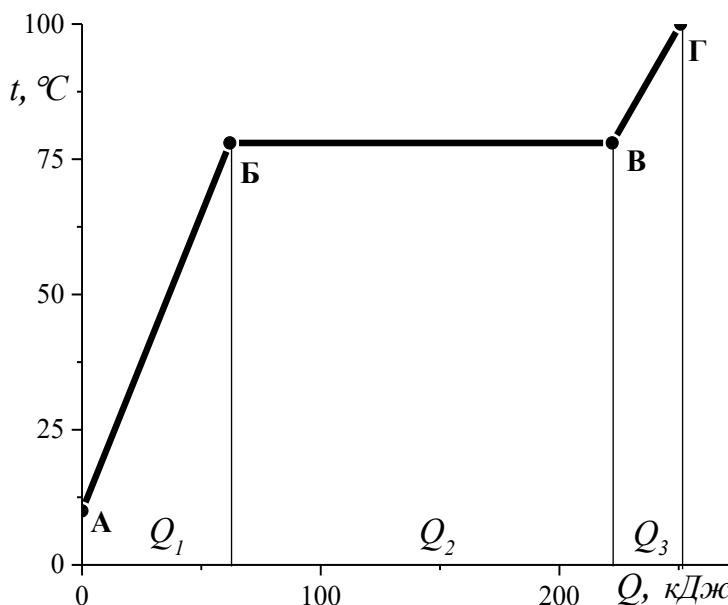


Рисунок 5.14 – Залежність температури ТАМ від кількості теплоти, яку підвели до ТАФП (без урахування теплоти на нагрів корпусу і розсіювання в навколишнє середовище):

$A - B$ - нагрівання твердої фази ТАМ; $B - B$ - плавлення твердої фази ТАМ (фазовий перехід); $B - Г$ - нагрівання рідкої фази ТАМ;

Таким чином, нагріваючи ТАМ від температури $T_{поч}$ до температури $T_{кін}$ ним спожито теплової енергії в кількості $Q_4 = Q_1 + Q_2 + Q_3$, при цьому ТАМ проходить три агрегатних стани.

При розрядженні (підігрів повітря на впуску) від ТАМ відводиться така ж кількість теплоти Q_4 за винятком теплових втрат $Q_{вт}$ в навколишнє середовище при зберіганні теплової енергії у міжзмінний період. Кількість втрат теплової енергії, як зазначалося раніше залежить від якості теплової ізоляції ТАФП. Теплові втрати при безгаражному зберіганні відбуваються через охолодження металевому корпусу ТАФП і рідкої фази ТАМ, а стабілізація необхідної температури на впуску забезпечується завдяки зміні агрегатного стану ТАМ (період кристалізації).

Дослідження роботи ТАФП в режимі зарядки проведені на

обкатувально-гальмівному стенді (рис. 4.1) за допомогою пристрою, виготовленого та встановленого у систему випуску ВГ двигуна VW BBU (рис. 4.6 д).

Під час проведення дослідження середня температура навколишнього повітря (t_0) склала близько $6,5^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск $p_0 = 99600$ Па.

Випробування виготовленого теплообмінного апарату кожухотрубчастого типу показало (рис. 5.15 – 5.17).

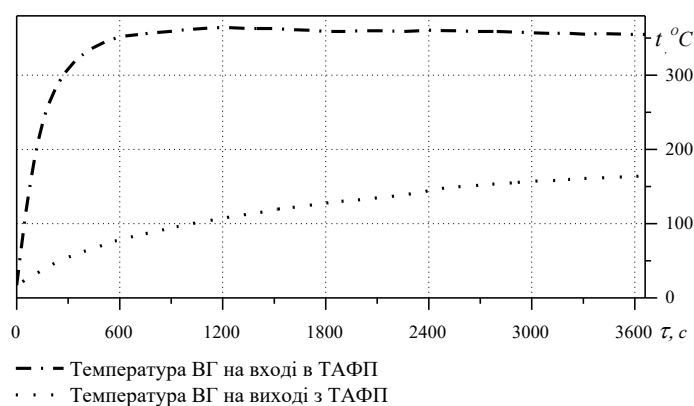


Рисунок 5.15 – Зміна температури ВГ в режимі зарядження ТАФП

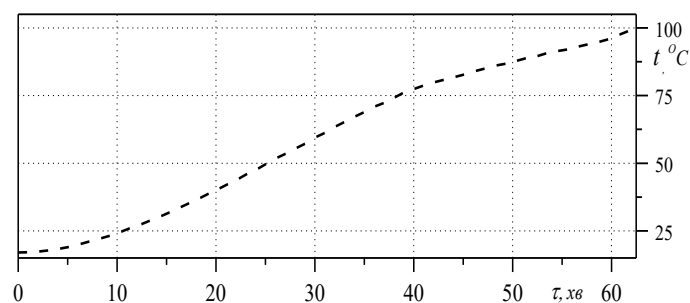
Час, необхідний для нагрівання ТАФП до температури 100°C контролювали по температурі трубного пучка для віддачі теплоти повітрю на випуску, склав 61 хв (рис. 5.16 (а)). Нагрів відбувався завдяки тепловій енергії ВГ в режимі холостого ходу.

При цьому температура газового трубного пучка, який призначений для передачі теплоти повітрю на випуску постійно збільшувалась.

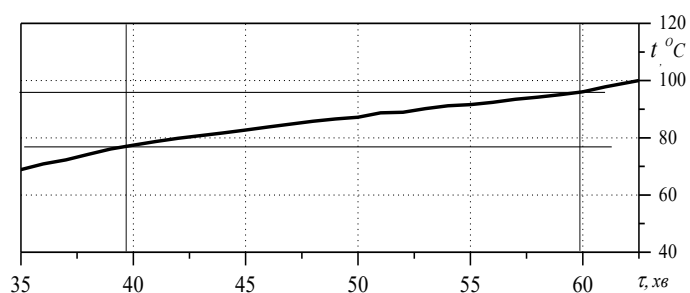
В період з 39 по 60 хв, спостерігається уповільнення зростання температури (рис. 5.16 (б)). Дане уповільнення можна пояснити періодом плавлення основної частини ТАМ. Тривалість періоду плавлення становить близько 20 хв.

Середня швидкість збільшення температури ТАФП в режимі зарядки:

- $1,52^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за перші 39 хв. ($17^{\circ}\text{C} - 76,1^{\circ}\text{C}$);
- $0,95^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за наступні 21 хв. ($76,1^{\circ}\text{C} - 96,1^{\circ}\text{C}$);
- $1,56^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за останні 2 хв. 30 сек. ($96,1^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$).



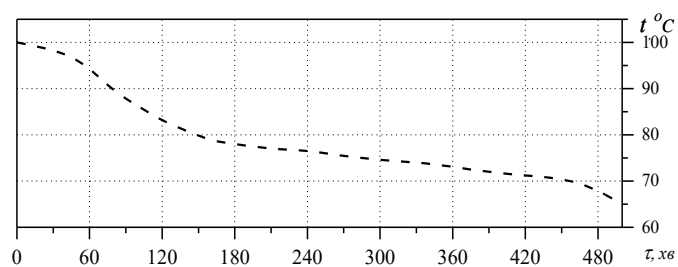
а



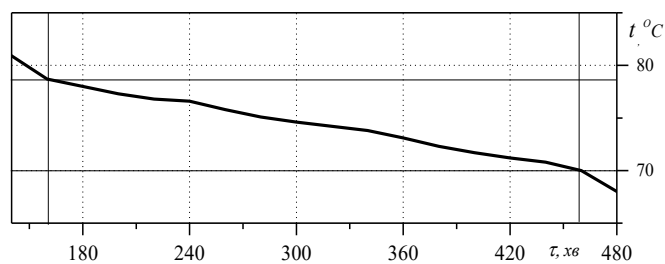
б

Рисунок 5.16 – Зміна температури газового трубного пучка в режимі зарядження (а) і період плавлення ТАМ (б)

Термін зберігання теплової енергії в ТАФП за певних умов проведення експерименту склав 8 год 20 хв (рис. 5.17 (а)).



а



б

Рисунок 5.17 – Зміна температури газового трубного пучка в період зберігання теплоти (а), в період кристалізації ТАМ (б)

За цей час температура ТАФП зменшилась від 100°C до 65°C . Кінцева температура визначалася можливістю забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання, за даними атмосферними умовами.

Середня швидкість зниження температури ТАФП в режимі зберігання:

- $0,133^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за перші 160 хв. (2 год. 40 хв.) ($100^{\circ}\text{C} - 78,7^{\circ}\text{C}$);
- $0,029^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за наступні 300 хв. (5 год) ($78,7^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$) (рис. 5.17 (а));
- $0,125^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ за останні 40 хв. ($70^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$).

5.5 Розрахунок економічного ефекту використання системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу

Було вже зазначено, що підвищення енергетичної ефективності автомобіля може бути досягнуто в результаті реалізації великої кількості різноманітних енергоефективних рішень.

При розробці та впровадженні нових методів, які спрямовані на поліпшення енергоефективності двигуна автомобіля, процедура визначення економічної ефективності цих заходів складається з трьох етапів.

Перший етап - це визначення необхідних витрат для реалізації запропонованого методу; другий - оцінювання економічного ефекту від застосування методу; третій - визначення терміну окупності необхідних витрат, які пов'язані з реалізацією запропонованого методу

В сучасній науковій літературі виділяють безліч підходів до оцінки економічної ефективності методів, які спрямовані на поліпшення паливної економічності автомобіля [126 – 129]. Різноманітність методів обумовлена необхідністю врахування при проведенні розрахунків, впливу досить великої кількості факторів, насамперед експлуатаційних.

Витрати, які пов'язані з виготовленням ТАФП і його встановленням на борту автомобіля можна визначити досить точно. Найбільша складність це розрахунок кількості палива, яке може бути зекономлено завдяки застосуванню системи підігріву повітря на впуску з ТАФП в режимі

прогрівання, так як ця кількість залежить від частоти (кількості) пусків холодного двигуна і тривалості його прогрівання, яка залежить від температури навколишнього повітря.

Розрахунок вартості ТАФП проводили виходячи з вартості матеріалу корпусу, ТАМ, теплоізоляційного матеріалу, а також вартості роботи зі збирання ТАФП.

Середня вартість металу (нержавіючий лист і трубка 12X18H10T) становить 80 грн/кг. Виходячи з ваги теплового акумулятора близько 32 кг, загальна вартість металу може скласти 2560 грн.

Середня вартість ТАМ – октагідрата гідроксиду барію становить близько 70 грн, що виходячи із загальної маси може становити до 450 грн.

Зварювання акумулятора може скласти до 900 грн.

Картон базальтовий 600х600х14мм (ПЖТЗ-1-14) - 100 грн.

Разом загальна вартість виготовлення ТАФП може скласти близько 4000 грн.

Посилення вимог до паливної економічності і висока вартість нових технологій щодо очищення ВГ змушує дбати про раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів. Для оцінки ефективності використання заходів з раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів провели оцінку економічного ефекту та розрахунок терміну окупності витрат, які пов'язані з виготовленням ТАФП.

Під економічним ефектом розуміється різниця між результатами, які можуть бути отримані за результатами застосування системи підігріву повітря з ТАФП і витратами на його виготовлення.

Метою оцінювання економічної ефективності застосування ТА в якості технічного рішення, яке спрямоване на поліпшення паливної економічності та екологічних показників легкового автомобіля, є визначення доцільності його реалізації, а також оцінка економічного доходу, який може буде отриманий в результаті реалізації цього рішення.

В якості критерію для оцінювання економічної ефективності

використовували термін окупності витрат, які пов'язані з виготовленням ТАФП.

Термін окупності витрат – це прогнозований період часу, який необхідний для того, щоб доходи, які отримані від економії палива на прогрівання холодного двигуна легкового автомобіля, повністю покрили витрати на виготовлення ТАФП.

Для спрощення розрахунку терміну окупності витрат на виготовлення ТАФП, прийняли умову, що доходи від економії палива очікуються рівнорозмірні за період експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря. У зв'язку з цим, використали спрощену математичну залежність для розрахунку прогнозованого терміну окупності [130]:

$$PP = \frac{IC}{CF}, \quad (5.11)$$

де PP (Pay-Back Period) – термін окупності, рік;

IC (Invest Capital) – витрати на виготовлення ТАФП, грн;

CF (Cash Flow) – середньорічний дохід, який отримують від економії палива на прогрівання холодного двигуна автомобіля, грн/рік.

Для розрахунку середньорічного доходу, який отримують від економії палива на прогрівання холодного двигуна автомобіля, скористалися аналізом зміни клімату в Україні, зокрема в місті Київ (табл. 5.4 та рис. 5.18).

Таблиця 5.4 – Середні значення середньомісячних температур повітря у місті Києві за період з 1961 по 2016 роки [131]

Показник	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	За рік
Середня температура, °С	-4,3	-3,3	1,8	9,6	15,8	18,9	20,6	19,7	14,6	8,1	2,5	-1,8	8,5

Кліматична тривалість зими в Києві від 90 до 120 днів. Зима тривала, але порівняно тепла. За багаторічними спостереженнями усталене середньодобове зниження температури нижче 0°C починається після 20-х

чисел листопада, а підвищення — після 20-х чисел березня. Стійкий сніговий покрив встановлюється в грудні. Сніг лежить в середньому 90 – 95 днів.

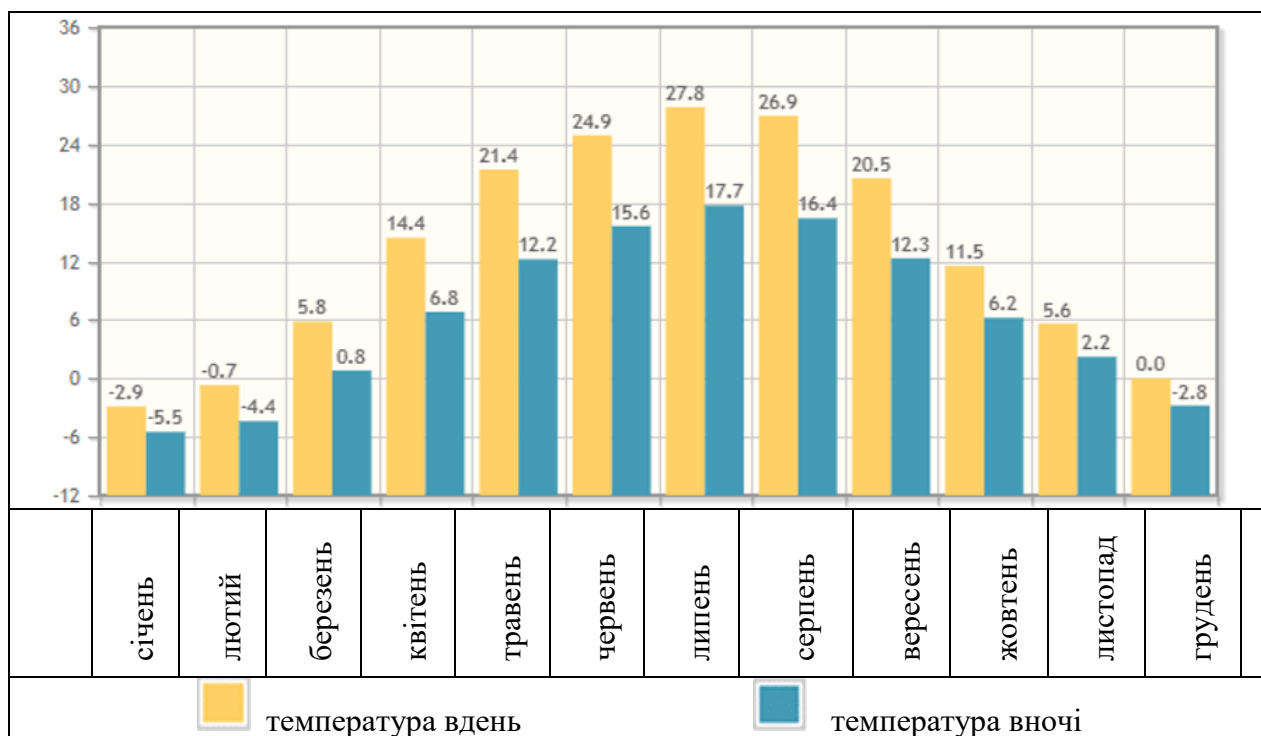


Рисунок 5.18 – Середні значення температур повітря вдень і вночі в місті Києві по місяцях за період за 2016 – 2017 роки, °C [132]

Згідно з даними аналітичного агентства «Автостат», які представлені в дослідженні ринку автомобільних компонентів і запчастин, середній пробіг легкового автомобіля, в залежності від розмірів населеного пункту та віку автомобіля, може становити близько 16,7 тис. км на рік [133].

Так, величина середнього пробігу для нових автомобілів (у віці до 3-х років) становить близько 20 тис. км на рік, від 3 до 10 років – приблизно 18 тис. км, від 10 до 20 років – близько 15 тис. км і автомобілів старше 20 років – менше 10 тис. км.

Виходячи з вищевикладеного та певних припущень, для подальших розрахунків прийняли: кількість днів експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря – 120; автомобіль проїжджає до 50 км за добу, з них 6 – 10 км на не прогрітому двигуні, при цьому здійснює 2 пуски холодного двигуна.

За даними [134] на серпень місяць 2017 року, середня ціна на бензин А-95 в Україні становить 24,57 грн. за літр, в місті Києві – 24,72 грн.

Виходячи з цього, розраховали вартість бензину (дохід), яка може бути заощаджена під час двох прогрівань холодного двигуна протягом 120 днів експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря. В результаті розрахунку середньорічного доходу (CF), який отримано від економії палива на прогрівання холодного двигуна автомобіля одержали наступні значення:

- з карбюраторною системою живлення паливом (MeM3-245) – близько 950 грн/рік;
- з системою розподіленого впорскування палива (VW BBY) – близько 750 грн/рік.

За математичною залежністю (5.11), отримали прогнозний термін окупності виготовлення ТАФП, якій склав для двигунів:

- з карбюраторною системою живлення паливом (MeM3-245) – близько 16 місяців експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря;
- з системою розподіленого впорскування палива (VW BBY) – близько 20 місяців експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Також необхідно зазначити, що при оцінюванні ефективності запропонованих технічних рішень необхідно враховувати не тільки економічні результати від їх застосування, але і позитивний вплив їх на екологічність автомобіля, ступінь забезпечення його надійності і обслуговування.

5.6 Розрахунок екологічного ефекту використання системи підігріву повітря на впуску з тепловим акумулятором фазового переходу

Автомобільний транспорт – один з найважливіших компонентів

суспільного та економічного розвитку, що споживає значну кількість ресурсів і чинить серйозний вплив на навколишнє середовище. Швидке зростання кількості автотранспортних засобів на дорогах призвів до істотного ускладнення екологічної обстановки, особливо у великих містах.

Згідно з даними аналітичного агентства «АВТОСТАТ», продажі нових легкових автомобілів в Україні за підсумками 2016 року зросли на 41%. Як зазначають в Асоціації автовиробників України «Укравтопром», весь минулий рік авторинок країни демонстрував позитивну динаміку щодо 2015 року. Обсяг ринку нових легкових автомобілів в Україні, за підсумками першого півріччя 2017 року, показав зріст на 36%. Найбільшим регіональним ринком у країні є Київ, на який припадає 32,5% від загального обсягу [135].

Як зазначалося раніше, найбільша інтенсивність зростання кількості шкідливих викидів з ВГ відбувається в режимі прогрівання, що свідчить про значний вплив цього режиму на екологічні показники автомобіля.

У зв'язку з цим, зменшення тривалості прогрівання КН і його вихід на ефективні показники функціонування, разом з поліпшенням паливної економічності двигуна, є важливою вимогою, що висувають до сучасних енергетичних установок.

Для визначення впливу підігріву повітря на впуску на початок ефективних окиснювально-відновних реакцій в попередньому КН двигуна VW BBY порівнювали коефіцієнт ефективності перетворення i -ї шкідливої речовини у ВГ двигуна. Вимірювання концентрацій ШР у ВГ виконували до і після попереднього КН з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї. Оцінку ефективності роботи попереднього КН здійснювали за коефіцієнтом ефективності знешкодження i -ї шкідливої речовини.

Коефіцієнт ефективності знешкодження i -ї шкідливої речовини розраховували за залежністю:

$$E_i = \frac{C_{i0} - C_{in}}{C_{i0}} \cdot 100, \quad (5.12)$$

де C_{i0} - концентрація i -ї шкідливої речовини до КН;

C_{in} - концентрація i -ї шкідливої речовини після КН.

Застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП в режимі прогрівання забезпечує досить високу ефективність нейтралізації ШР в попередньому КН практично з 20-ї секунди після пуску холодного двигуна (рис. 5.19).

В режимі прогрівання холодного двигуна VW BBY без застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП коефіцієнт ефективності нейтралізації NO_x досягає 90% на 102-й секунді, CO - 60% на 170-й секунді, C_mH_n - 50% на 290-й секунді після пуску холодного двигуна.

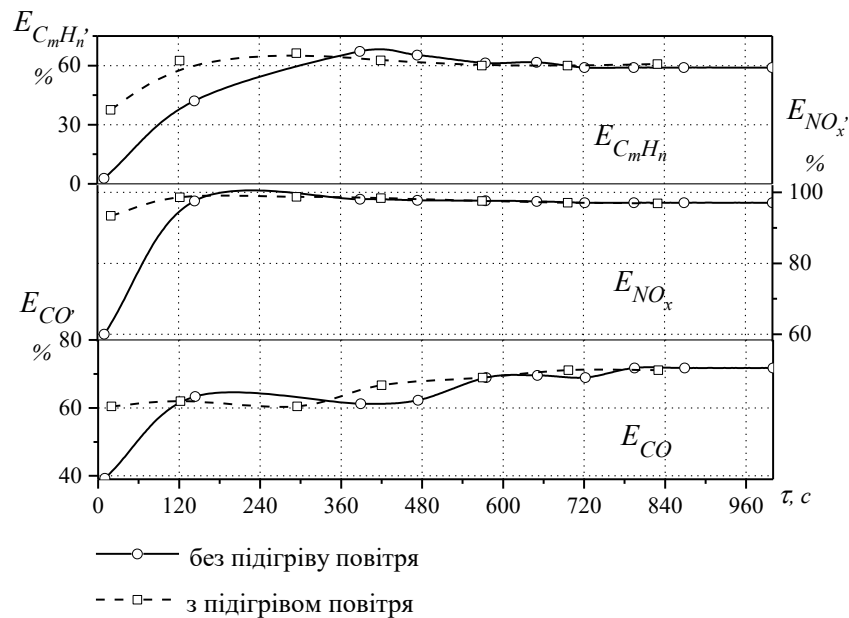


Рисунок 5.19 – Зміна коефіцієнтів ефективності нейтралізації ШР у попередньому КН двигуна VW BBY в режимі холостого ходу

Порівняння відносної ефективності функціонування попереднього КН в режимі прогрівання холодного двигуна VW BBY із застосуванням системи підігріву повітря на впуску з ТАФП щодо штатної системи показало наступне (рис. 5.20).

Відносна ефективність нейтралізації оксиду вуглецю та оксидів азоту при використанні підігріву повітря на впуску на 20 секундів роботи двигуна на 35...36% перевищувала ефективність роботи КН без підігріву повітря. Вихід попереднього КН на ефективну нейтралізацію оксиду вуглецю та

оксидів азоту без підігріву повітря на впуску стався на 120 секунд після пуску холодного двигуна.

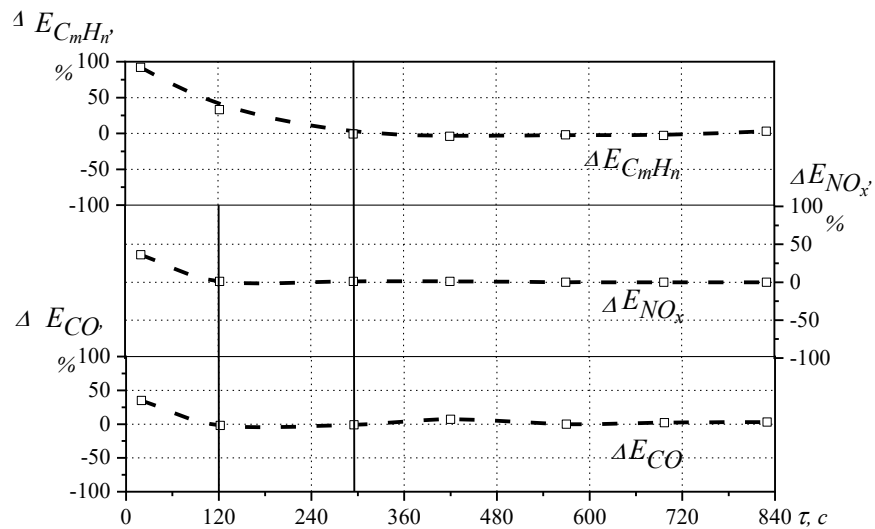


Рисунок 5.20 – Відносна ефективність функціонування попереднього КН в режимі прогрівання холодного двигуна VW BBY із застосуванням підігріву повітря на впуску щодо штатної системи

Відносна ефективність нейтралізації вуглеводнів при використанні підігріву повітря на впуску на 20 секунд роботи двигуна на 93% перевищувала ефективність роботи КН без підігріву. Вихід попереднього КН на ефективну нейтралізацію вуглеводнів без підігріву повітря на впуску стався на 300 секунд після пуску холодного двигуна.

5.7 Висновки до розділу 5

1. Використання коефіцієнта температурного впливу надає можливість залежно від початкової температури оливи в картері двигуна більш достовірно прогнозувати витрату палива автомобілями з іскровим запалюванням.

2. За результатами розрахунків на математичній моделі використання системи підігріву повітря на впуску з ТАФП дозволяє очікувати поліпшення паливної економічності автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» в режимі прогріву в

дорожніх умовах на 22,5%. Розбіжність з експериментальними даними склала близько 5%.

3. За запропонованою методикою проведено розрахунок ТАФП для системи підігріву повітря на впуску легкового автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря. Визначені розміри ТА і маса ТАМ для забезпечення підігріву необхідної кількості повітря в режимі прогрівання. Обраний теплоізоляційний матеріал і розрахована необхідна товщина цього матеріалу для забезпечення збереження необхідної кількості теплоти в міжзмінний період.

4. Розрахунок сумарних масових викидів шкідливих речовин, зведених до СО, двигунів з іскровим запалюванням в режимі прогрівання показав, що при застосуванні підігріву повітря на впуску їх кількість зменшується в порівнянні зі штатною системою в середньому близько 24...27%.

5. Ефективність нейтралізації при використанні системи підігріву повітря на впуску з ТАФП на 20-й секунді роботи двигуна VW BBY перевищувала ефективність функціонування КН без підігріву повітря по СО та NO_x на 35...36%, по C_mH_n – на 93%. При цьому вихід КН на ефективний режим функціонування без підігріву повітря на впуску стався: по СО та NO_x на 120-й секунді, по C_mH_n – на 300-й секунді після пуску холодного двигуна.

6. Розрахований прогнозний термін окупності виготовлення ТАФП складає: з карбюраторною системою живлення паливом (MeM3-245) – близько 16 місяців, з системою розподіленого впорскування палива (VW BBY) – близько 20 місяців експлуатації автомобіля в умовах низької температури навколишнього повітря.

ВИСНОВКИ

1. Експлуатація автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря призводить до погіршення його паливної економічності та екологічних показників, в зв'язку з цим актуальним є пошук і запровадження заходів, які дозволяють з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечити пуск холодного двигуна і прискорене його прогрівання. В дисертаційній роботі вирішена наукова-технічна задача поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобільних двигунів з іскровим запалюванням в режимі прогрівання використанням ТАФП.

2. Розроблена методика розрахунку витрати палива автомобілем в режимі прогрівання двигуна, в якій вперше запропоновано застосування коефіцієнта температурного впливу, що дозволяє оцінити ефективність застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП за різної початкової температури оливи в картері двигуна та оцінити на математичній моделі паливну економічність автомобіля в русі за Європейським міським їздовим циклом з прогріванням двигуна з системою підігріву повітря на впуску з ТАФП та без неї.

3. Стендові випробування двигунів при їх прогріванні в режимі холостого ходу показали, що при підігріві повітря на впуску час прогрівання карбюраторного двигуна MeM3-245 зменшився на 19%, паливна економічність поліпшилась на 20%, сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до CO, зменшились на 48%; час прогрівання двигуна з системою впорскування і зворотнім зв'язком VW BBU зменшився на 9%; паливна економічність поліпшилась на 22%. Підігрів повітря на впуску прискорює початок функціонування КН, підвищення температури ВГ в зоні попереднього КН до 360°C на 19% швидше ніж зі штатною системою. Сумарні масові викиди, зведені до CO, до попереднього КН зменшились на 10%, після попереднього КН зменшилась на 51%.

4. При прогріванні двигуна VW BBY в режимі середньої точки Європейського міського їздового циклу час прогрівання двигуна зменшується на 6%; паливна економічність поліпшується на 19%.

5. Дорожні випробування автомобіля ЗАЗ-1102 показали, що застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП при прогріванні холодного двигуна зменшує шлях прогріву двигуна на 6%, загальну витрату палива на 28%, сумарні масові викиди продуктів неповного згорання, зведені до CO, на 62%.

6. Запропонований в роботі спрощений варіант теплотехнічного розрахунку ТАФП дозволяє прогнозувати кількість акумульованої теплової енергії в залежності від маси ТАМ і його теплофізичних властивостей. Випробування виготовленого ТАФП в інтервалі температур від 10°C до 4°C, показало, що час зберігання теплової енергії в необхідній кількості складає 8 годин 20 хвилин. За цей час температура теплового акумулятора знизилась від 100°C до 65°C.

7. За результатами розрахунків, згідно запропонованій методики, застосування системи підігріву повітря на впуску з ТАФП дозволяє очікувати поліпшення паливної економічності автомобіля ЗАЗ-1102 при прогріванні в режимах Європейського міського їздового циклу на 22,5%.

8. Розрахований прогнозний термін окупності виготовлення ТАФП складає: для двигунів з карбюраторною системою (MeM3-245) – близько 16 місяців, з системою розподіленого впорскування (VW BBY) – близько 20 місяців експлуатації автомобіля в умовах низьких температур навколишнього повітря

9. Результати експериментальних випробувань і розрахункових досліджень прийняті до використання в 482-ому конструкторсько-технологічному центрі Збройних Сил України та ТОВ науково-виробнича компанія «ТЕХІМПЕКС».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Покровский А.В. Эксплуатация автомобилей с карбюраторными двигателями в условиях низких температур. – М.: Транспорт, 1961. – 77 с.
2. Рябчинский А.И. Экологическая безопасность автомобиля // А.И. Рябчинский, Ю.В. Трофименко, С.В. Шелмаков, под ред. Член-корр. РАН В.Н. Луканина / МАДИ-ТУ. М.: 2000. - 95 с.
3. Резник Л.Г. Приспособленность автомобилей к низким температурам воздуха / Л.Г. Резник, Г.М. Ромалис, С.Т. Чарков. – Тюмень.: ТГУ, 1985. – 105 с.
4. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
5. Trapy J. An investigation of lubricating system warm-up for the improvement of cold start efficiency and emissions of SI automotive engines // J. Trapy, P. Damiral / SAE technical paper 902089: 1990.
6. Roberts A. Internal combustion engine cold-start efficiency: A review of the problem, causes and potential solutions // A. Roberts, R. Brooks, P. Shipway / Energy Conversion and Management, Volume 82, 2014, pp. 327–350.
7. Ленин И.М. Теория автомобильных и тракторных двигателей. М.: Машиностроение. 1969.- 368 с.
8. Иванов В.Н. Экономия топлива на автомобильном транспорте / В.Н. Иванов, В.И. Ерохов - М: Транспорт, 1984. – 152 с.
9. Andrews G. The use of a water/lube oil heat exchanger and enhanced cooling water heating to increase water and lube oil heating rates in passenger cars for reduced fuel consumption and CO₂ emissions during cold start // G. Andrews, A. Ounzain, H. Li, M. Bell, J. Tate, K. Ropkins. SAE technical paper 2007-01-2067; 2007.
10. Will F. A new method to warm up lubricating oil to improve the fuel efficiency during cold start / F. Will, A. Boretta // SAE technical paper 2011-01-

0318; 2011.

11. Tobergte M. The importance of advanced test processes to reduce emissions and fuel consumption – Frank Will. In: ICSAT conference, 16th August; 2011.

12. Goettler H. The effect of exhaust-to-coolant heat transfer on warm-up time and fuel consumption of two automobile engines // H. Goettler, L. Vidger, D. Majkrzak, SAE technical paper 860363; 1986.

13. Kunze K. A systematic analysis of CO₂-reduction by an optimized heat supply during vehicle warm-up // K. Kunze, S. Wolff, I. Lade, J. Tonhauser / SAE technical paper 2006-01-1450; 2006.

14. Папкин Б.А. Испытания в части отладки режимов пуска генераторной установки мобильного (бортового) зарядного устройства электрических силовых установок городского транспорта / Б.А. Папкин, В.И. Сонкин, В.Е. Назаров // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 2 (приложение «Технические науки»). - С. 46.

15. Шарипов А. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска: диссертация кандидата технических наук: 05.04.02 / - Москва, 2012 - 136 с. ил.

16. André M. In actual use car testing: 70,000 kilometers and 10,000 trips by 55 French cars under real conditions. SAE technical paper 910039, 1991, doi:10.4271/910039

17. Andrews G. SI engine warm-up: water and lubricating oil temperature influences // Andrews G., Harris J., Ounzain A. / SAE technical paper 892103; 1989.

18. Eng J. The Effect of Spark Retard on Engine-out Hydrocarbon Emissions", SAE Technical Paper 2005-01-3867, 2005 – P. 1-17.

19. Jarrier L. Warm-up of a DI diesel engine: experiment and modeling // L. Jarrier, J. Champoussin, R. Yu / SAE technical paper 2000-01-0299; 2000.

20. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: Учеб. пособие для

студ. высш. учеб. заведений. М.: изд. центр «Академия», 2004, с. 6–14.

21. Global Transport Scenarios 2050 World Energy Council London 2011 74 p.

22. Акунов Б.У. Анализ факторов, влияющих на расход топлива автомобиля в процессе эксплуатации / Кыргызский технический университет им. И. Раззакова / Наука, новые технологии и инновации №2, 2014, Бишкек С. 36-38

23. Семёнов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур — М.: Транспорт, 1993. - 190 с.

24. Канарчук В.Е. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств // В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, И.П. Курников / Учебник: В 3-х кн. – Кн. 1. Теоретические основы. Технология. – К.: Выща школа, 1991. – 359 с.

25. Резник Л.Г. Научные основы приспособленности автомобилей к условиям эксплуатации: Дис. д-ра техн. наук. – М., 1981. – 355 с.

26. Виленский Л.И. Исследование влияния низких температур окружающего воздуха на эксплуатационную топливную экономичность автомобиля: Дис. ... канд. техн. наук. - Тюмень, 1979. - 197 с.

27. Оберемок В.З. Пуск автомобильных двигателей // В. З. Оберемок, И. М. Юрковский / – М. : Транспорт, 1979. – 118 с.

28. Тріфонов Д.М. Поліпшення гомогенності паливоповітряної суміші за рахунок забезпечення оптимальної температури повітря, що надходить у двигун / Д.М. Тріфонов // LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2016. - С.31.

29. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів: монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук, Ю.В. Прилепський та ін. – Донецьк: Ноулідж, 2014. – 230 с.

30. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств /

В. В. Шульгин / СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – 268 с.

31. Грицук І.В. До питання про можливості використання теплового акумулювання і перетворювачів в системах накопичення енергії тепловозних ДВЗ / І. В. Грицук, Ю. В Прилепський, Д.С Адров та ін. // Збірник наукових праць ДонІЗТ. №25. – Донецьк, 2011. – С. 80 – 86.

32. Трифонов Д.Н. Повышение энергоэффективности силовых установок путем использования тепловых аккумуляторов / Д.Н. Трифонов, Л.П Мержиевская // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2015. - Т. 2. - С. 74.

33. Трифонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна / Д.М. Трифонов // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2015. - С.31

34. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В. С. Найман. – М. : Изд-во «Астрель», 2007. – 213 с.

35. Карепов В.А. Системы подготовки двигателей экскаваторов и кранов к запуску при низких температурах / Карепов В. А., Хорош А. И. – М. : ЦНИИТстроймаш, вып. 1, 1981. – 52 с.

36. Резников В.Д. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости: Международный каталог / В. Д. Резников, Т. В. Шестаковская – М.: Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2005. – 380 с.

37. Трифонов Д.М. Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням / Д. М. Трифонов, О. В. Сирота, С. В. Карев, О. С. Добровольський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Випуск 2 (32.) – К. : НТУ, 2015. – С. 278 – 285.

38. Burch S.D. Reducing Cold-Start Emissions by Catalytic Converter

Thermal Management / S.D. Burch, T.F. Potter, M.A. Keyser, M.J. Brady, K.F. Michaels // SAE Technical Paper Series. № 950409. 1995. P.13–21.

39. Murphy O. Electrically Initiated Chemically Heated Catalytic Converter to Reduce Cold-Start Emissions from Automobiles / O. Murphy, R. Kukreja, C. Andrews // SAE Technical Paper Series. № 991233. 1999. P. 1–11.

40. Гутаревич Ю.Ф. Про можливість використання водневмісних сполук в дизелях. / Ю.Ф. Гутаревич, А.О. Корпач, О.Д. Філоненко, Є.В. Шуба // Вісник ЖДТУ: Наук. журн. Вип. 2/2014. Серія: Технічні науки. –Житомир, 2014. С. 85-89

41. Бортников Л.Н. Добавка водорода на режимах пуска и прогрева двигателя / Л.Н. Бортников, М.М. Русаков, Д.А. Павлов // Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров "Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров" Международного научного симпозиума «Автотракторостроение – 2009». Книга 2, Москва, МГТУ «МАМИ», 2009 г., с. 25.

42. Ложкин В.Н. Теория и практика применения тепловых аккумуляторов фазового перехода для улучшения экологических и топливно-экономических показателей автотранспортных средств // В.Н. Ложкин, В.В. Шульгин // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень № 2 (22). – СПб.: НПК «Атмосфера» при ГГО им. А.И. Воейкова, 2000. – С. 40-53

43. Патент № 2204027 РФ МПК 7F01N3/00. Каталитический нейтрализатор / В.Н. Ложкин, В.В. Шульгин, С.Д. Гулин, Г.М. Золотарев (РФ). - № 2001129630/06; Заявлено 01.11.2001; Оpubл. 10.05.2003, Бюл. № 13

44. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации автомобильного транспорта в низкотемпературных условиях: диссертация ... доктора технических наук: 05.22.10. - Тюмень, 2000. - 275 с.: ил. РГБ ОД, 71 00-5/607-3

45. Кукис В.С. Тепловой аккумулятор как средство повышения

экологических, мощностных и экономических показателей поршневых ДВС / В.С. Кукис, Ю.Ф. Коваленко, А.В. Разношинская // Ползуновский вестник – Барнаул: издательский центр ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – 2003. – № 1–2. – С. 82–84.

46. Романов В.А. Повышение эффективности поршневых двигателей внутреннего сгорания путем использования тепловых аккумуляторов энергии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / Романов Виктор Анатольевич. – Новосибирск, 2011. – 404 с.

47. Тріфонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Д.М. Тріфонов, В.С. Вербовський, І.В. Грицук // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2015. Вип. 3 (45) – С. 18-27.

48. Яркин А.В. Тепловой аккумулятор двигателя внутреннего сгорания строительной машины / А.В. Яркин, И.А. Пустовалов // Оренбург: Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. - №10 (129) / С. 193-198.

49. Патент № 2436020 РФ, МПК F24H 7/00 (2006.01). Аккумулятор тепла / Наумов А. Л., Серов С. Ф., Ефремов В. В., Дегтярев Н. С.; заявитель и владелец: Общество с ограниченной ответственностью «МИКТЕРМ». – № 2010128229/06; заявл. 08.07.2010; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.

50. Патент № 78984 Україна, МПК (2006.01) F01P 3/22, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини дизеля М756 дизель-поїзду ДР-1 з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тепловим акумулятором з електропідігрівом і моніторингом теплових параметрів» / І.В. Грицук, В.Й. Поддубняк, М.В. Сергієнко, Ю.Ф. Гутаревич, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Донецький інститут залізничного транспорту, Державний № u2012 10517; заяв. 06.09.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 5с.: іл.

51. Патент № 78985 Україна, МПК (2013.01) F24H 7/00, «Тепловий

аккумулятор фазового переходу» / І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, Ю.В. Прилепський, В.Й. Поддубняк, М.В. Сергієнко, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Донецький інститут залізничного транспорту, Державний № u2012 10520; заяв. 06.09.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 6с.: іл.

52. Патент № 2187049 РФ С1 МКИ 7 F24H 7/00. Тепловой аккумулятор фазового перехода. Авторы: Шульгин В.В., Гулин С.Д., Никифоров Г.И., Кинев Ю.Г., Крапивко О.В., Золотарев Г.М. (РФ) -№2000132463/06, заявлено 25.12.2000 г. опубл. 10.08.2002 г. бюл. №22.

53. Патент № 94641 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловими аккумуляторами» / В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М.Гущин, Ю.В.Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний ун-т, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05701; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22.-14 с.: іл..

54. Патент № 94642 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання» /В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М. Гущин, Ю.В. Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, Ш.К. Амерханова, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний ун-т, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05702; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22. 12 с.: іл.

55. <http://www.freepatent.ru/patents/23537952.html>

56. <http://www.findpatent.ru/patent/215/2150603.html>

57. <http://www.findpatent.ru/patent/217/2170851.html>

58. Ложкин В.Н. О моделировании систем очистки отработавших газов ДВС с использованием нейтрализаторов и тепловых аккумуляторов фазового перехода / В. Н. Ложкин, В. В. Шульгин, М. А. Максимов *Технико-технологические проблемы сервиса*, Санкт-Петербургский государственный экономический университет (Санкт-Петербург) 2011, №3 (17), С. 46-51.

59. Гуреев А.А. Применение автомобильных бензинов. М.: Химия, 1972. 368 с.

60. Иванов В.И. Техническая эксплуатация строительных, дорожных и коммунальных машин в зимнее время: / В.И. Иванов, А.Н. Чебоксаров, Д.В. Дзюбин // – Омск: СибАДИ, 2009. – 46 с.

61. Гутаревич Ю.Ф. До вибору теплоакумуючих матеріалів теплового акумулятора збереження теплового стану ДВЗ / Ю. Ф. Гутаревич, В. Д. Александров, І. В. Грицук та ін. // Вісник Національного транспортного університету. Вип. 26.– К. : НТУ, 2012. – С. 127 – 133.

62. Александров В.Д. Теплоаккумулирующие материалы на основе кристаллогидратов / В.Д. Александров, О. В. Соболев, С. А. Фролова та ін. // Вісник ДонНАБА. Вип. 1 (75). – Донецьк, 2009. – С. 100 – 103.

63. Мозговой А.Г. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты: обзоры по теплофизическим свойствам веществ / А. Г. Мозговой, Э. Э. Шпильрайн, М. А. Дибиров и др. // – М.: ИВТАН, 1990, № 2 (82), – 105 с.

64. Михеев М.А. Основы теплопередачи /М.А. Михеев, И.М Михеева // Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. 344 с с ил.

65. <http://www.higheexpert.ru/content/gases/air.html>

66. Романков П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учеб. пособие для вузов / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк // -2-е изд., испр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. - 544 с., ил.

67. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навч. Посібник / А.П. Врагов // – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 262с.

68. Чепурний М.М. Тепломасообмін в прикладах і задачах: навчальний посібник /М. М. Чепурний, Н. В. Резидент // – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 128 с.

69. Лабай В.Й. Тепломасообмін / В. Й. Лабай. – Львів: Тріада-Плюс, 1998. – 255 с.

70. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей // А. Д. Мышкис / Изд. 3-е, исправленное М.: КомКнига, 2007. - 192 с.

71. Літнарівч Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу // Р.М. Літнарівч Навчальний посібник, МЕНУ, Рівне, 2011.-140 с.

72. Семенова І.Ю. Математичні моделі МСС. Навчальний посібник /І.Ю. Семенова Київський національний університет імені Т. Шевченка К. 2014 – 82с.

73. Огороднов С.М. Оценка возможности использования аналитических методов при исследовании топливной экономичности автомобилей // С.М. Огороднов, А.Н. Тихомиров, С.И. Малеев / Известия высших учебных заведений. Машиностроение #2 [659] 2015

74. Борисенко А.О. Аналіз методів оцінки паливної економічності автомобілів // А.О. Борисенко Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, ХНАДУ Харків 5/2013

75. Кравец В.Н. Теория автомобиля. Нижний Новгород, Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2013. 413 с.

76. Коптилов В.И. О комплексных показателях топливно-энергетической эффективности автомобиля. Автомобильная промышленность, 2012, № 5, с. 15–17.

77. Вайсблум М.Е. Новые тенденции в развитии требований ЕЭК ООН в отношении экологических показателей АТС и устанавливаемых на них двигателей. Журнал ААИ. – 2011. -№3 (68)., с. 14-19

78. http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/fizichna_geografija_materikiv_ta_okeaniv/evropa_osoblivosti_klimatu/42-1-0-711

79. Гусаков С.В. Улучшение экологических показателей автомобильного двигателя с искровым зажиганием в период прогрева после холодного пуска. // С.В. Гусаков, А.З. Шарипов., А.А. Меньших / РУДН, - 2011, № 3. с. 60-67.

80. Стефановский А.Б. О влиянии температурных условий на расход топлива легковыми автомобилями / Таврический государственный агротехнологический университет Праці ТДАТУ Вип. 13, Т. 6 С. 178-184

81. Odsell O. Influence of ambient temperature and cold start on automobile fuel consumption / O. Odsell // VTI Rapport. - Linkoping, 1981. - No. 207A. - 17 p.

82. Lee J. Y. Analysis of the effect of cold start on fuel economy of gasoline automatic transmission vehicle / Y. J. Lee, I. Park, J.H. Lee // International Journal of Automotive Technology, August 2014, Volume 15, Issue 5, pp 709–714

83. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путем оптимизации эксплуатационных факторов: дис. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.22.10. - эксплуатация автомобильного транспорта / Ю.Ф. Гутаревич - К. 1985 - 538 с.

84. Симоненко Р.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників автомобілів шляхом раціонального прогріву їх двигунів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20. – експлуатація та ремонт засобів транспорту / Р. В. Симоненко - К., - 2004. – 205с.

85. Мержиєвська Л.П. Покращення паливної економічності і зменшення шкідливих викидів автомобілів раціональним регулюванням бензинових двигунів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.10. – експлуатація автомобільного транспорту / Л.П. Мержиєвська. – К., – 1998. – 247с.

86. Андрюхіна О.С. Розробка спрощеного випробувального циклу для перевірки технічного стану бензинових двигунів легкових автомобілів в

умовах експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20. – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О.С. Андрюхіна - К., 2006. – 193 с.

87. Гунько А.В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників автомобілів в умовах експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20. – експлуатація та ремонт засобів транспорту / А.В. Гунько - К., 2006. - 185 с.

88. Тріфонов Д.М. Визначення показників автомобіля в русі за режимами Європейського їздового циклу в процесі прогріву двигуна / Д.М. Тріфонов // Вісник Національного транспортного університету Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. -К.: НТУ, 2017. - Вип. 3 (39). с. 194 – 204.

89. Антипов С.И. Современные испытательные ездовые циклы и их актуальность при создании алгоритма работы системы управления автомобиля с КЭУ / С. И. Антипов, Ю. В. Дементьев // Известия волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 10 (113). – С. 8-11.

90. ДСТУ UN/ECE R 83-05:2009 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів (Правила ЕЭК ООН № 83-05:2005, IDT).

91. ГОСТ 14846-81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний <http://helpnik.college.ks.ua/standart/gost/Catalog/Index/7/7750.htm>

92. Кульбако В.П. Вибір середньостатистичного автомобіля при проведенні досліджень по визначенню ефективності заходів, направлених на покращення екологічної обстановки в містах / В. П. Кульбако // Вісник НТУ. – 2008. – № 17. – С. 103 – 108.

93. <https://www.autostat.ru/news/24483/>

94. Чуйко Г.В. Посібник з експлуатації автомобіля «LANOS»/ Г.В. Чуйко, І.М. Ємельянцева, В.М. Донець. – Україна. – 2007.

95. Фучаджи К.С. Автомобиль ЗАЗ-1102 "Таврия": Устройство, эксплуатация, ремонт / К. С. Фучаджи, Н. Н. Стрюк. — М.: Транспорт, 1991. — 259 с.: ил., табл.

96. Трифонов Д.М. Вплив підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники сучасного двигуна з іскровим запалюванням / Д.М. Трифонов // Вісник Національного транспортного університету Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2016. - Вип. 2(35) С. 227-233.

97. Трифонов Д.М. Підвищення ефективності нейтралізації відпрацьованих газів двигуна з іскровим запалюванням в режимі прогріву / Д. М. Трифонов // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 7. Seria: Transport. Rzeszów 2016. S.195-202.

98. Шуба Є.В. Зниження токсичності та поліпшення паливної економічності бензинових двигунів в режимах малих навантажень і холостого ходу: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.03 — «Двигуни та енергетичні установки» / Є.В. Шуба – Київ, 2016. 211 с.

99. Gutarevich Yu.F. Car ZAZ-1102 improvement in fuel efficiency and environmental performance in warm-up phase after engine cold start / Yu.F. Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – PoltNTU, 2017. 1 (48). S. 19-25.

100. Трифонов Д.М. Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням, з метою оптимізації витрати палива / Д.М. Трифонов, І.В. Манько, О.В. Сирота // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 6. Seria: Transport. Rzeszów 2015. S.201-208

101. http://www.zr.ru/content/articles/504279-sovremennyy_dvigatel_gret_ili_ne_gret/

102. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження паливної економічності та екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при роботі в режимі прогріву в дорожніх умовах / Ю. Ф. Гутаревич, Д. М. Трифонов, О. В. Сирота // Вісник

Національного транспортного університету Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. -К.: НТУ, 2017. - Вип. 1 (37). С. 93-100

103. Трифонов Д.Н. Исследование топливной экономичности и экологических показателей автомобиля ЗАЗ-1102 оснащенного тепловым аккумулятором в режиме прогрева / Д.Н. Трифонов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2017. С. 95-96

104. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания/ И.Я. Райков. – М.: Высшая школа, 1975. - 320 с.

105. Стефановский Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский, К.А. Скобцева, Е.К. Корси и др. //- М.: - Машиностроение. -1974. - 108 с.

106. ДСТУ 2708-99 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.

107. Огороднов С.М. Оценка возможности использования аналитических методов при исследовании топливной экономичности автомобилей С.М. Огородное, А.Н. Тихомиров, С.И. Малеев Известия ВУЗов. Машиностроение — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, — 2015 .— №2 .— с. 53-62

108. Копотилов В.И. О комплексных показателях топливно-энергетической эффективности автомобиля. Автомобильная промышленность, 2012, № 5, с. 15–17.

109. Бондарев С.И. Планирование транспортных расходов на международных автомобильных перевозках Scientific Journal «ScienceRise» Издательство: Технологический центр (Харьков) Том: 10 Номер: 2 (27) Год: 2016 С: 22-27.

110. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи екології» / Укл. А. О. Корпач, А. Г. Говорун, Л. П. Мержиєвська, М. І. Гуменчук: НТУ, 2006. – 44 с.

111. Косенков И.А. Совершенствование системы предпусковой

тепловой подготовки тракторных дизелей путём использования аккумулированной энергии Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Санкт-Петербург 2011 2

112. Дружинин П.В. Предпусковая подготовка двигателей внутреннего сгорания при технической эксплуатации транспортных машин / П.В. Дружинин, А.А. Коричев, И.А. Косенков // Техничко-технологические проблемы сервиса. №4(10) 2009 - с. 7 - 12

113. Гутаревич Ю.Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Д. С. Адров, А. П. Комов, Д. М. Тріфонов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 10 (1053). – С. 55-62.

114. Конев В.В Математическое моделирование теплового состояния строительно-дорожных машин / Конев В.В., Закирзаков Г.Г., Райшев Д.В., Мерданов М.Ш., Саудаханов Р.И. // Современные проблемы науки и образования, 2014, № 6 С. 320

115. Konev V Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive / Konev V., Merdanov S., Karnaukhov M., Borodin D. // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. T. 190 volume 1. pp. 697-706.

116. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при использовании автомобильного транспорта зимой. - М.: ОАО Издательство «Недра», 1998. 180 с.

117. Котенко Э.В. Моделирование процесса разрядки фазопереходного аккумулятора теплоты с учетом перегрева жидкого теплоаккумулирующего материала // Вестн. Воронеж. ГТУ. Сер. Энергетика. – 2003. – Вып. 7.3. – С. 141–144.

118. Конев В.В. Моделирование системы утилизации тепла ДВС специальной и автотранспортной техники / В.В. Конев, Д.В. Райшев, Г.Г. Закирзаков, С.В. Созонов // Инженерный вестник Дона, №1 (2015) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2830.

119. Sh. Merdanov, V. Konev, S. Sozonov, Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical bas[^]s and innovative approach, Vol. 5. - Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. - pp. 113-117.

120. Адров Д.С. Покращення паливної економічності і екологічних показників двигунів внутрішнього згорання застосуванням системи комбінованого прогріву.- Дис. канд. техн. наук: 05.05.03, Нац. трансп. ун-т. - Київ, 2014. - 200 с.

121. Автомобильные двигатели. В.М. Архангельский [и др.]; отв. ред. М.С. Ховах. М.: Машиностроение, 1977. - 591 с.

122. Романков П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): Учеб. пособие для вузов П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. -2-е изд., испр. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. - 544 с., ил.

123. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. — 677 с.: ил.

124. Бобылёв В.В. Подбор и расчет трубчатых теплообменников: Учеб.-метод. пособие / В.Н. Бобылёв // М-во образования Рос. Федерации. Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева. Изд. центр, 2003 - 79 с.

125. Шлямнев А.П. Коррозионностойкие, жаростойкие и высокопрочные стали и сплавы: Справ. изд. / А.П. Шлямнев, Т.В. Свистунова, О.Б. Лапшина, Н. А. Сорокина и др. // - М.: "Интермет Инжиниринг". 2000. - 232 с.

126. Дорман В.Н., Козлова Т.В., Трубицына О.Г. Экономика предприятия: учеб. пособие. – Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2011. - 170 с.

127. Куйбакова Р. Б. Теория и практика оценки экономической эффективности маркетинговой деятельности на металлургических предприятиях // Вопросы экономики и управления. - 2016. - №4. - С. 62-65.

128. Сафиуллин Р.Н. Методология повышения эффективности функционирования автотракторной техники на основе оценки и реализации технологического уровня применяемого топлива: диссертация ... доктора технических наук: 05.20.03 / Сафиуллин Равиль Нуруллович - Санкт-Петербург, 2015. - 529 с.

129. Эртман С.А. Приспособленность автомобилей к зимним условиям эксплуатации по температурному режиму двигателей : Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 : Тюмень, 2004. - 180 с.

130. Головань С.И. Бизнес-планирование и инвестирование Учебник / С.И. Головань, М.А. Спиридонов / Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 302 с.

131. https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Киева

132. <http://ukraine.pogoda360.ru>

133. www.autostat.ru

134. <https://consulting.a95.ua/>

135. <http://www.autopaor.ru>

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових фахових виданнях

1. Гутаревич Ю.Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Д. С. Адров, А. П. Комов, Д. М. Тріфонов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2014. – № 10 (1053). – С. 55-62.

2. Тріфонов Д.М. Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням / Д. М. Тріфонов, О. В. Сирота, С. В. Карев, О. С. Добровольський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Випуск 2 (32.) – К.: НТУ, 2015. – С. 278 – 285.

3. Тріфонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Д.М. Тріфонов, В.С. Вербовський, І.В. Грицук // Збірник наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво. – ПолтНТУ, 2015. Вип. 3 (45) – С. 18-27.

4. Тріфонов Д.М. Вплив підігріву повітря на впуску на паливну економічність та екологічні показники сучасного двигуна з іскровим запалюванням / Д.М. Тріфонов // Вісник Національного транспортного університету Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. - К.: НТУ, 2016. - Вип. 2(35) С. 227-233.

5. Gutarevich Yu.F. Car ZAZ-1102 improvement in fuel efficiency and environmental performance in warm-up phase after engine cold start / Yu.F.

Gutarevich, D.M. Trifonov, O.V. Syrota // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – PoltNTU, 2017. 1 (48). S. 19-25.

6. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження паливної економічності та екологічних показників автомобіля ЗАЗ-1102 при роботі в режимі прогріву в дорожніх умовах / Ю. Ф. Гутаревич, Д. М. Трифонов, О. В. Сирота // Вісник Національного транспортного університету Серія ‘Технічні науки’. Науково-технічний збірник. -К.: НТУ, 2017. - Вип. 1 (37). С. 93-100.

7. Трифонов Д.М. Визначення показників автомобіля в русі за режимами Європейського їздового циклу в процесі прогріву двигуна / Д.М. Трифонов // Вісник Національного транспортного університету Серія ‘Технічні науки’. Науково-технічний збірник. -К.: НТУ, 2017. - Вип. №3 (39). С. 194 – 204

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

8. Трифонов Д.М. Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням, з метою оптимізації витрати палива / Д.М. Трифонов, О.В. Сирота, І.В. Манько // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 6. Seria: Transport. Rzeszów 2015. S.201-208

9. Трифонов Д.М. Підвищення ефективності нейтралізації відпрацьованих газів двигуна з іскровим запалюванням в режимі прогріву / Д. М. Трифонов // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 7. Seria: Transport. Rzeszów 2016. S.195-202.

Публікації апробаційного характеру

10. Трифонов Д.М. Повышение энергоэффективности силовых установок путем использования тепловых аккумуляторов // Д.М. Трифонов, Л.П Мержиевская / Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2015. - Т. 2. - С. 74.

11. Трифонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних

показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна // Д.М. Тріфонов / LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2015. - 572с. С.31

12. Тріфонов Д.М. Поліпшення гомогенності паливоповітряної суміші за рахунок забезпечення оптимальної температури повітря, що надходить у двигун // Д.М. Тріфонов / LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2016. - 548с. С.31.

13. Тріфонов Д.М. Исследование топливной экономичности и экологических показателей автомобиля ЗАЗ-1102 оснащенного тепловым аккумулятором в режиме прогрева // Д.М. Тріфонов / Наука – образованию, производству, экономике: материалы 15-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2017. С. 95.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

14. Літературний твір наукового характеру «Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням, з метою оптимізації витрати палива» / Д.М. Тріфонов, І.В. Манько, О.В. Сирота, Національний транспортний університет // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63946 від 05.02.2016.

15. Літературний твір наукового характеру «Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням» / Д.М. Тріфонов, Сирота О.В., С.В. Карев, О. С. Добровольський, Національний транспортний університет // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 63949 від 05.02.2016.

Патенти на корисну модель

16. Патент № 94641 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M

5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання з утилізацією теплоти тепловими акумуляторами» / В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М. Гушин, Ю.В. Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний університет, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05701; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22.-14 с.: іл.

17. Патент № 94642 Україна, МПК (2014.01) F01P 3/22 (2006.01), F01M 5/00, «Система регулювання температури охолоджуючої рідини, температури і тиску моторної оливи двигуна внутрішнього згорання» /В.Й. Поддубняк, Ю.Ф. Гутаревич, О.І. П'ятничко, І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.І. Сергієнко, О.О. Зародов, Д.С. Адров, А.М. Гушин, Ю.В. Прилепський, Д.М. Тріфонов, З.І. Краснокутська, Ш.К. Амерханова, А.В. Вербовський, А.І. Грицук / (Україна); Заявник і патентовласник: Донецький інститут залізничного транспорту, Національний транспортний університет, Інститут газу НАНУ, Державний № u2014 05702; заяв. 27.05.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22. 12 с.: іл.

Апробація результатів дисертації.

Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені та доповідались на 4 міжнародних та 2 всеукраїнських науково-технічних конференціях:

- LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2015 р., м. Київ (доповідь);

- міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2015 р., м. Київ (доповідь);

- 13-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука – освіті, виробництву, економіці», БНТУ, 2015, м. Мінськ (публікація тез);

- LXXII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2016 р., м. Київ (доповідь);

- міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2016 р., м. Київ (доповідь);

- 15-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука – освіті, виробництву, економіці», БНТУ, 2017, м. Мінськ (публікація тез).

СВІДОЦТВА ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 63949

Літературний твір наукового характеру "Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Тріфонов Дмитро Миколайович, Сирота Олександр Вадимович, Карев Станіслав Володимирович, Добровольський Олександр Сергійович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

05.02.2016

Дата реєстрації



Голова Державної служби інтелектуальної власності України
 А.Г.Жарінова

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**
Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,
вул. Урицького, 45
Тел. (044) 494-06-06
Факс (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua



**STATE INTELLECTUAL
PROPERTY SERVICE
OF UKRAINE**
Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,
45, Urytskogo str.
Tel. (044) 494-06-06
Fax (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua

РІШЕННЯ

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву
Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010
(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 08.12.2015 № 64392

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір Літературний твір наукового характеру "Дослідження впливу підігріву повітря на паливну економічність та емісію шкідливих речовин у двигуні з іскровим запалюванням"; Трифонов Дмитро Миколайович, Сирота Олександр Вадимович, Карев Станіслав Володимирович, Добровольський Олександр Сергійович; Національний транспортний університет

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності



А.Г. Жарінова



ЗГІДНО З ОПРАЦІЯНОЮ
ЗАВ. КАНЦ. АР. 08.12.2015
НИКИФОРОВА

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА **ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 63946

Літературний твір наукового характеру "Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням з метою оптимізації витрати палива"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) **Тріфонов Дмитро Миколайович, Манько Іван Володимирович, Сирота Олександр Вадимович**

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

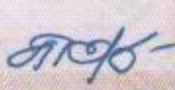
Авторські майнові права належать **Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010**

(повне ім'я фізичної та/або повна офіційна найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації **05.02.2016**



Голова Державної служби
інтелектуальної
власності України

 **А.Г.Жарінова**

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**

Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,
вул. Урицького, 45
Тел. (044) 494-06-06
Факс (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua



**STATE INTELLECTUAL
PROPERTY SERVICE
OF UKRAINE**

Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,
45, Urytskogo str.
Tel. (044) 494-06-06
Fax (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua

РІШЕННЯ

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

**Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву
Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010**

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 08.12.2015 № 64389

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір Літературний твір наукового характеру "Дослідження різних методів прогріву двигуна з іскровим запалюванням з метою оптимізації витрати палива"; Тріфонов Дмитро Миколайович, Манько Іван Володимирович, Сирота Олександр Вадимович; Національний транспортний університет

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

**Голова Державної служби
інтелектуальної власності**



А.Г. Жарінова



ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ



(11) 94641

(19) UA

(51) МПК (2014.01)
 F01P 3/22 (2006.01)
 F01M 5/00

(21) Номер заявки: u 2014 05701
 (22) Дата подання заявки: 27.05.2014
 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.11.2014
 (46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.11.2014, Бюл. № 22

(72) Винахідники:
 Поддубняк Володимир Йосипович, UA,
 Гутаревич Юрій Феодосійович, UA,
 П'ятничко Олександр Іванович, UA,
 Грицук Ігор Валерійович, UA,
 Вербовський Валерій Степанович, UA,
 Сергієнко Микола Іванович, UA,
 Зародов Олександр Олександрович, UA,
 Адров Дмитро Сергійович, UA,
 Гуцин Анатолій Михайлович, UA,
 Прилепський Юрій Валентинович, UA,
 Трифонов Дмитро Миколайович, UA,
 Краснокутська Зоя Ігорівна, UA,
 Вербовський Олексій Валерійович, UA,
 Грицук Андрій Ігорович, UA

(73) Власники:
 ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ДОНЕЦЬКИЙ ІНСТИТУТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ",
 вул. Артема, 184, м. Донецьк, 83018, UA,
 НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
 вул. Суворова, 1, м. Київ-10, 01010, UA,
 ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,
 вул. Дегтярівська, 39, м. Київ, 03113, UA

ЗГІДНО З
 ОРИГІНАЛОМ



Сторінка 3 із 6



(11) 94642

(19) UA

(51) МПК (2014.01)
F01P 3/22 (2006.01)
F01M 5/00

(21) Номер заявки: u 2014 05702

(22) Дата подання заявки: 27.05.2014

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.11.2014

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.11.2014, Бюл. № 22

(72) Винахідники:

Поддубняк Володимир
Йосипович, UA,
Гутаревич Юрій
Феодосійович, UA,
П'ятничко Олександр
Іванович, UA,
Грицук Ігор Валерійович, UA,
Вербовський Валерій
Степанович, UA,
Сергієнко Микола Іванович,
UA,
Зародов Олександр
Олександрович, UA,
Адров Дмитро Сергійович,
UA,
Гущин Анатолій
Михайлович, UA,
Прилепський Юрій
Валентинович, UA,
Трифонов Дмитро
Миколайович, UA,
Краснокутська Зоя Ігорівна,
UA,
Амерханова Шамшия
Кенжегазиновна, UA,
Вербовський Олексій
Валерійович, UA,
Грицук Андрій Ігорович, UA

(73) Власники:

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ
НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ ІНСТИТУТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ УКРАЇНСЬКОЇ
ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ",
вул. Артема, 184, м. Донецьк,
83018, UA,
НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТРАНСПОРТНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Суворова, 1, м. Київ-10,
01010, UA,
ІНСТИТУТ ГАЗУ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ,
вул. Дегтярівська, 39, м. Київ,
03113, UA



Додаток Г

Протокол випробування двигуна ВВУ

Дата 08.02.2016

холостий хід

Час 14 год. 30 хв.

 P_o = 100350 Па Вологість повітря = 78% T_o = 13/286 °C/K $R_{пов}$ = 287 Дж/(кгК) $\rho_{пов}$ = 1,223 кг/м³Загальний час
16,40 хв = 1000 сВитрачено
0,254 грам

Паливо А95

 l_0 = 14,70

№	n	$\Delta G_{пал}$	$\tau_{пал}$	$G_{пал}$		$G_{пов}$	t_{ox}	$t_{Др}$ Засл	$t_{вп\ кол}$	$t_{вс}$	P_{BK}	α	CO , %		CO_2 , %		$C_m H_n$, мл/л		NO_x , мл/л		$\tau_{мч}$	$\tau_{мч}$	θ	$\phi_{др}$
	хв ⁻¹	с	с	кг/год		кг/год	°C	°C	°C	°C	кПа		до	після	до	після	до	після	до	після	с	хв.	град	град
1.	1155	30	101	1,07		14,79	20	13	11,2	26	353	0,94	3	0,48	12,7	14	360	350	25	5	10	0,1	7,0	5,3
2.	1033						38	13	10,5	185	345	1,00									86	1,26	4,5	4,6
3.	927	20	86	0,84		12,35	45	13	12,4	403	333	1,00	0,46	0,19	12,6	13,9	340	167	220	4	144	2,24	4,0	4,2
4.	896	20	87	0,83		12,20	53	13	12,3	450	323	1,00									252	4,12	4,0	3,8
5.	847			0,71			58	13	12,3	452	321	1,00	0,49	0,17	12,5	13,5	365	180	145	3	343	5,43	4,0	3,5
6.	823	15	81	0,67		9,85	61	14	12,2	454	320	1,00									389	6,29	4,0	3,4
7.	794	15	94	0,57		8,38	65	14	12,2	448	320	1,00	0,45	0,1	13,9	13,5	345	180	115	3	474	7,54	4,0	3,2
8.	768	10	65	0,55		8,09	67	15	12,3	437	315	1,00									575	9,35	4,0	3,1
9.	750	10	64	0,56		8,23	69	15	12,4	429	314	1,00									651	10,51	4,0	3,0
10.	723			0,55			71	16	12,5	426	312	1,00	0,41	0,09	12,9	13,4	260	150	100	3	700	11,4	3,0	2,9
11.	715	10	66	0,55		8,09	74	16	12,5	424	314	1,00									722	12,02	4,0	2,8
12.	710	10	69	0,52		7,64	77	17	12,5	424	315	1,00									795	13,15	2,0	2,8
13.	695						78	18	12,6	423	320	1,00									835	13,55	1,0	2,8
14.	695	10	67	0,54		7,94	82	18	12,6	422	324	1,00	0,46	0,1	14,6	14,8	280	135	100	3	869	14,29	-1,0	2,8
15.	690						84	19	12,6	422	324	1,00									935	15,35	-1,0	2,8
16.	700	10	67	0,54		7,94	85	20	12,6	420	321	1,00									1000	16,40	0,0	2,8

ПРОМІЖНІ РОЗРАХУНКИ

Розрахунок теплофізичних властивостей теплоносія (повітря на впуску в двигун), виходячи з температури навколишнього повітря і атмосферного тиску

Теплофізичні властивості теплоносія	Одиниця виміру	Наближені формули	Значення
Температура	<i>К</i>	<i>T₀</i>	283
Тиск	<i>Па</i>	<i>p₀</i>	100150
Густина	<i>кг/м³</i>	$\rho_{\text{air}}(T) := \frac{p_{\text{air}}}{287,4 \cdot T}$	1,231
Питома теплоємність	<i>Дж/(кг·К)</i>	$c_{p \text{ air}}(T) := [1,0005 + 1,1904 \cdot 10^{-4} \cdot (T - 273)] \cdot 10^3$	1002,3
Теплопровідність	<i>Вт/(м·К)</i>	$\lambda_{\text{air}}(T) := 2,44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,82}$	251,3
Коефіцієнт динамічної в'язкості	<i>Па·с</i>	$\mu_{\text{air}}(T) := 1,717 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^{0,683}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт кінематичної в'язкості	<i>м²/с</i>	$\nu_{\text{air}}(T) := \frac{\mu_{\text{air}}(T)}{\rho_{\text{air}}(T)}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$
Коефіцієнт температуропровідності	<i>м²/с</i>	$a_{\text{air}}(T) := \frac{\lambda_{\text{air}}(T)}{c_{p \text{ air}}(T) \cdot \rho_{\text{air}}(T) \cdot 1000}$	$2,04 \cdot 10^{-5}$
Число Прандтля	-	$Pr_{\text{air}}(T) := \frac{\nu_{\text{air}}(T)}{a_{\text{air}}(T)}$	0,7014

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна МЕМЗ-245 на навколишнє середовище при прогріванні його в режимі холостого ходу

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	NOx	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год
2,1	2,2	106	120	25,5	0,53338	0,00789	0,00546	0,78283
1,71	2,05	96	116	22,9	0,43241	0,00622	0,00461	0,64143
1,22	2,03	91	96	16,8	0,31143	0,00429	0,00278	0,43905
1,08	2,1	77	73	14,7	0,28291	0,00319	0,00185	0,36912
0,84	2,1	62	64	11,6	0,22226	0,00201	0,00128	0,28109
0,84	2,12	61	59	11,3	0,22035	0,00195	0,00115	0,27397

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	NOx	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год
2,3	2,29	363	155	32	0,6671	0,0325	0,0085	1,1195
1,76	1,93	326	140	24,7	0,4328	0,0224	0,0059	0,7470
1,36	1,97	269	105	18,8	0,3378	0,0142	0,0034	0,5220
1,22	1,99	255	102	17	0,3078	0,0121	0,0030	0,4683
0,99	2,01	240	85	14,5	0,2613	0,0096	0,0021	0,3772
0,99	2,05	223	75	13,2	0,2496	0,0083	0,0017	0,3466
0,94	2,08	210	56	12,8	0,2440	0,0076	0,0012	0,3187

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна VW BBU на навколишнє середовище при прогріві його в режимі холостого ходу (до попереднього блока КН)

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{\text{нал}}$	CO	$C_m H_n$	NOx	$G_{\text{нов}}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
0,91	0,48	280	75	9,23013	0,04490	0,00804	0,00131	0,12415	0,69
0,75	0,5	315	275	10,69425	0,04831	0,00935	0,00501	0,28388	0,97
0,67	0,48	350	230	9,794169	0,04222	0,00945	0,00382	0,22904	0,99
0,55	0,48	310	180	8,062362	0,03476	0,00689	0,00246	0,15764	0,99
0,51	0,45	290	120	7,407477	0,02994	0,00592	0,00151	0,11059	0,99
0,47	0,45	280	100	6,898122	0,02788	0,00533	0,00117	0,09277	0,99
0,46	0,45	280	95	6,665274	0,02694	0,00515	0,00107	0,08732	0,99

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{\text{нал}}$	CO	$C_m H_n$	NOx	$G_{\text{нов}}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
1,07	1,3	360	25	10,07	0,13652	0,01161	0,00049	0,19330	0,64
0,84	0,6	340	200	11,36	0,06259	0,01089	0,00393	0,25852	0,92
0,67	0,49	365	150	9,75	0,04291	0,00981	0,00248	0,17582	0,99
0,57	0,45	345	130	8,30	0,03352	0,00789	0,00183	0,13359	0,99
0,56	0,45	310	125	8,15	0,03294	0,00697	0,00173	0,12593	0,99
0,56	0,46	300	115	8,15	0,03367	0,00674	0,00159	0,12027	0,99
0,55	0,45	280	100	8,00	0,03235	0,00618	0,00136	0,10764	0,99
0,52	0,46	280	100	7,57	0,03126	0,00584	0,00128	0,10245	0,99
0,46	0,46	280	100	6,69	0,02766	0,00517	0,00113	0,09063	0,99
0,46	0,46	280	100	6,69	0,02766	0,00517	0,00113	0,09063	0,99

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна VW BBU на навколишнє середовище при прогріві його в режимі холостого ходу (після попереднього блока КН)

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{\text{пал}}$	CO	$C_m H_n$	NOx	$G_{\text{нов}}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
0,91	0,19	175	5	9,23013	0,0178	0,0050	8,73E-05	0,0372	0,69
0,75	0,19	118	4	10,69425	0,0184	0,0035	7,29E-05	0,0324	0,97
0,67	0,19	118	3	9,794169	0,0167	0,0032	4,98E-05	0,0288	0,99
0,55	0,16	116	3	8,062362	0,0116	0,0026	4,10E-05	0,0214	0,99
0,51	0,14	116	3	7,407477	0,0093	0,0024	3,77E-05	0,0183	0,99
0,47	0,13	112	3	6,898122	0,0081	0,0021	3,51E-05	0,0162	0,99
0,46	0,13	110	3	6,665274	0,0078	0,0020	3,39E-05	0,0156	0,99

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{\text{пал}}$	CO	$C_m H_n$	NOx	$G_{\text{нов}}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
1,07	0,79	350	10	10,07	0,08296	0,01129	1,96E-04	0,12667	0,64
0,84	0,22	197	5	11,36	0,02295	0,00631	9,82E-05	0,04693	0,92
0,67	0,19	120	3	9,75	0,01664	0,00323	4,96E-05	0,02887	0,99
0,57	0,17	120	3	8,30	0,01266	0,00274	4,22E-05	0,02307	0,99
0,56	0,14	120	3	8,15	0,01025	0,00270	4,14E-05	0,02047	0,99
0,56	0,14	115	3	8,15	0,01025	0,00258	4,14E-05	0,02012	0,99
0,55	0,14	115	3	8,00	0,01006	0,00254	4,07E-05	0,01976	0,99
0,52	0,13	115	3	7,57	0,00884	0,00240	3,85E-05	0,01800	0,99
0,46	0,13	115	3	6,69	0,00782	0,00212	3,40E-05	0,01592	0,99
0,46	0,13	115	3	6,69	0,00782	0,00212	3,40E-05	0,01592	0,99

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна VW BBY на навколишнє середовище при прогріві його під навантаженням

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	NOx	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
3,27	0,69	305	720	45,67	0,2865	0,0389	0,0564	2,7259	0,95
3,18	0,79	270	730	45,81	0,3260	0,0342	0,0568	2,7704	0,98
3,05	0,88	215	720	44,39	0,3508	0,0263	0,0542	2,6605	0,99
3,03	0,89	205	720	44,10	0,3525	0,0249	0,0538	2,6432	0,99
3,13	0,89	177	724	45,55	0,3641	0,0222	0,0559	2,7320	0,99
3,05	0,89	180	730	44,39	0,3548	0,0220	0,0549	2,6819	0,99
2,89	0,9	169	740	42,06	0,3400	0,0196	0,0528	2,5703	0,99
2,94	0,89	165	750	42,79	0,3420	0,0195	0,0544	2,6392	0,99
2,91	0,89	164	750	42,35	0,3385	0,0192	0,0538	2,6119	0,99
2,90	0,89	161	750	42,20	0,3373	0,0187	0,0537	2,6018	0,99

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	NOx	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
3,72	0,71	315	440	50,31	0,3280	0,0447	0,0383	2,0428	0,92
3,51	0,85	310	690	50,05	0,3844	0,0430	0,0589	2,9397	0,97
3,37	0,93	242	690	48,55	0,4067	0,0325	0,0569	2,8496	0,98
3,21	0,93	210	700	46,24	0,3874	0,0269	0,0550	2,7337	0,98
3,09	0,96	188	690	44,51	0,3849	0,0231	0,0522	2,6039	0,98
2,93	1	178	725	42,21	0,3802	0,0208	0,0520	2,5838	0,98
2,9	0,99	170	745	41,78	0,3726	0,0196	0,0529	2,6090	0,98
2,9	0,99	169	752	41,78	0,3726	0,0195	0,0534	2,6291	0,98
2,91	0,98	168	752	41,92	0,3701	0,0195	0,0536	2,6340	0,98
2,92	0,98	168	752	42,07	0,3713	0,0195	0,0538	2,6431	0,98

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» на навколишнє середовище при прогріві його в режимі холостого ходу

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
3,50	1,33	319	48,88	0,5911	0,0435	0,7286	0,95
3,25	0,81	281	46,82	0,3416	0,0364	0,4566	0,98
3,09	0,53	235	45,00	0,2142	0,0292	0,3063	0,99
2,66	0,45	227	38,71	0,1564	0,0242	0,2330	0,99
2,00	0,4	226	29,03	0,1043	0,0181	0,1615	0,99
1,60	0,42	214	23,23	0,0876	0,0137	0,1309	0,99
1,46	0,47	214	21,29	0,0899	0,0126	0,1296	0,99
1,16	0,48	214	16,94	0,0730	0,0100	0,1046	0,99

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	C_mH_n	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/год	%	млн ⁻¹	кг/год	кг/год	кг/год	ум. кг/год	
4,00	2,08	500	54,10	1,0333	0,0763	1,2743	0,92
3,72	1,88	450	53,04	0,9011	0,0662	1,1103	0,97
3,25	1,44	391	46,82	0,6073	0,0506	0,7673	0,98
2,98	0,73	283	42,93	0,2823	0,0336	0,3885	0,98
2,48	0,65	289	35,73	0,2092	0,0286	0,2994	0,98
2,05	0,63	287	29,53	0,1676	0,0234	0,2417	0,98
1,62	0,71	254	23,34	0,1493	0,0164	0,2011	0,98
1,40	0,84	270	20,17	0,1526	0,0151	0,2002	0,98
1,35	0,85	257	19,45	0,1489	0,0138	0,1926	0,98
1,37	0,85	273	19,74	0,1511	0,0149	0,1982	0,98

Показники роботи двигуна та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями данні для екологічній оцінки впливу двигуна автомобіля ЗАЗ-1102 «Таврія» на навколишнє середовище при прогріві його в дорожніх умовах

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	$C_m H_n$	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/км	%	млн ⁻¹	кг/км	кг/км	кг/км	ум. кг/км	
0,250	6,19	884	2,46	0,1562	0,0068	0,1778	0,67
0,170	3,65	717	1,97	0,0696	0,0042	0,0828	0,79
0,090	3,2	1022	1,16	0,0347	0,0034	0,0454	0,88
0,070	2,2	673	0,98	0,0196	0,0018	0,0254	0,95
0,060	1,16	482	0,84	0,0088	0,0011	0,0124	0,95
0,055	1,05	382	0,78	0,0074	0,0008	0,0101	0,97
0,045	1,09	513	0,65	0,0064	0,0009	0,0093	0,98
0,050	1,39	480	0,72	0,0090	0,0010	0,0120	0,98

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

$G_{нал}$	CO	$C_m H_n$	$G_{нов}$	G_{CO}	G_{CH}	$G_{\Sigma CO}$	α
кг/км	%	млн ⁻¹	кг/км	кг/км	кг/км	ум. кг/км	
0,40	7,48	3278	3,82	0,2964	0,0399	0,4225	0,65
0,25	5,96	4100	2,65	0,1573	0,0332	0,2623	0,72
0,15	6,87	3000	1,72	0,1146	0,0154	0,1631	0,78
0,09	6,00	3000	1,08	0,0620	0,0095	0,0921	0,82
0,08	4,27	1570	1,00	0,0402	0,0045	0,0545	0,85
0,07	4,00	1000	0,90	0,0335	0,0026	0,0416	0,87
0,07	3,50	753	0,95	0,0304	0,0020	0,0368	0,92
0,06	3,00	716	0,84	0,0229	0,0017	0,0281	0,95
0,06	1,35	579	0,86	0,0104	0,0014	0,0148	0,97

Масові викиди шкідливих речовин та отримані в результаті розрахунку за математичними залежностями коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин в ВГ попереднім блоком КН двигуна VW BBU при прогріві його в режимі холостого ходу

а) з використанням теплового акумулятора фазового переходу

Масові викиди шкідливих речовин до попереднього блоку КН			Масові викиди шкідливих речовин після попереднього блоку КН			Коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин КН		
G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	E_{CO}	E_{CH}	E_{NO}
кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	%	%	%
0,04490	0,00804	0,00131	0,0178	0,00804	0,00131	60	38	93
0,04831	0,00935	0,00501	0,0184	0,00935	0,00501	62	63	99
0,04222	0,00945	0,00382	0,0167	0,00945	0,00382	60	66	99
0,03476	0,00689	0,00246	0,0116	0,00689	0,00246	67	63	98
0,02994	0,00592	0,00151	0,0093	0,00592	0,00151	69	60	98
0,02788	0,00533	0,00117	0,0081	0,00533	0,00117	71	60	97
0,02694	0,00515	0,00107	0,0078	0,00515	0,00107	71	61	97

б) без використання теплового акумулятора фазового переходу

Масові викиди шкідливих речовин до попереднього блоку КН			Масові викиди шкідливих речовин після попереднього блоку КН			Коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин КН		
G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	G_{CO}	G_{CH}	G_{NOx}	E_{CO}	E_{CH}	E_{NO}
кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	кг/год	%	%	%
0,13652	0,01161	0,00049	0,08296	0,01129	1,96E-04	39	3	60
0,06259	0,01089	0,00393	0,02295	0,00631	9,82E-05	63	42	98
0,04291	0,00981	0,00248	0,01664	0,00323	4,96E-05	61	67	98
0,03352	0,00789	0,00183	0,01266	0,00274	4,22E-05	62	65	98
0,03294	0,00697	0,00173	0,01025	0,00270	4,14E-05	69	61	98
0,03367	0,00674	0,00159	0,01025	0,00258	4,14E-05	70	62	97
0,03235	0,00618	0,00136	0,01006	0,00254	4,07E-05	69	59	97
0,03126	0,00584	0,00128	0,00884	0,00240	3,85E-05	72	59	97
0,02766	0,00517	0,00113	0,00782	0,00212	3,40E-05	72	59	97
0,02766	0,00517	0,00113	0,00782	0,00212	3,40E-05	72	59	97

Коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин в ВГ та ефективність функціонування попереднього блоку КН в режимі прогріву холодного двигуна VW BBU з використанням підігріву повітря на впуску щодо штатної системи

Коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин КН з використанням ТАФП			Коефіцієнти ефективності знешкодження шкідливих речовин КН без використання ТАФП			Ефективність функціонування попереднього блоку КН з підігрівом повітря на впуску щодо штатної системи		
E_{CO}	E_{CH}	E_{NO}	E_{CO}	E_{CH}	E_{NO}	E_{CO}	E_{CH}	E_{NO}
%	%	%	%	%	%	%	%	%
60	38	93	39	3	60	35	93	36
62	63	99	63	42	98	-2	33	1
60	66	99	61	67	98	-1	-1	1
67	63	98	62	65	98	7	-4	1
69	60	98	69	61	98	0	-2	0
71	60	97	70	62	97	2	-3	0
71	61	97	69	59	97	3	3	0

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ
УКРАЇНИ
ВІЙСЬКОВА ЧАСТИНА
А2070
Код 07731345

«07» 04 2017 р.
№ А/386

02093, м. Київ, вул. Бориспільська, 71а

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Тріфонова Д.М. на тему:
«ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ
АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ПРОГРІВУ ДВИГУНА»

Дисертаційна робота Тріфонова Дмитра Миколайовича на тему «Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна» пов'язана з визначенням та обґрунтуванням більш доцільних методів прогріву двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря, розробкою системи, яка дозволяє скоротити час, поліпшити паливну економічність та зменшити емісію шкідливих речовин у відпрацьованих газах під час прогріву, за рахунок використання теплової енергії, яка акумульована в тепловому акумуляторі фазового переходу під час попередньої роботи двигуна за рахунок утилізації теплової енергії відпрацьованих газів.

Передані матеріали досліджень, які отримані в дисертаційній роботі Тріфонова Д.М. по впливу підігріву повітря на впуску під час пуску холодного двигуна та його прогріву свідчать про доцільність використання даного способу для поліпшення показників роботи двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря.

До використання прийняті наступні результати:

експериментальні залежності зміни паливоекономічних та екологічних показників двигунів з іскровим запалюванням при їх прогріві в умовах низьких температур навколишнього повітря з використанням системи підігріву повітря на впуску та без неї;

методику обрання та розрахунку системи полегшення пуску холодного двигуна та зменшення часу його прогріву в умовах експлуатації використанням сучасних енергоефективних технологій (теплового акумулятора фазового переходу);

запропоновану методику оцінювання паливної економічності двигуна в процесі прогріву використанням коефіцієнта температурного впливу;

рекомендації щодо вибору комбінованого методу прогріву двигуна автомобіля при його експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря.

Начальник 482 конструкторсько-технологічного центру
Збройних Сил України
підполковник



А.С.СТУДЗІНСЬКИЙ

ЛІЦЕНЗІЯ МІНІСТЕРСТВА ПРОМИСЛОВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ЕКСПОРТНОГО КІНТРОЛЮ УКРАЇНИ
 ТОВ НАУКОВО-ВИРОБНИЧА КОМПАНІЯ
«ТЕХІМПЕКС»
 Офіс 383, вул. Кудряшова 16, Київ, 03035, Україна
 +38 (044) 220 0800 (02,04) факс +38 (044) 220 0803
 e-mail: techimpex@i.ua, www.tie.in.ua



LICENSE MINISTRY OF INDUSTRIAL POLICY OF UKRAINE
 STATE SERVICE OF EXPORT CONTROL OF UKRAINE CERTIFICATE
 SCIENTIFIC-PRODUCTION COMPANY, LTD
«TECHIMPEX»
 Office 383, 16 Kudryashova Str., 03035 Kyiv, Ukraine
 +38 (044) 220 08 00 (02,04), fax +38 (044) 220 08 03
 e-mail: techimpex@i.ua, www.tie.in.ua

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Трифонова Д.М. на тему:
**«ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ
 ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОВИХ
 АКУМУЛЯТОРІВ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ДЛЯ ПРОГРІВУ ДВИГУНА»**

Дисертаційна робота Трифонова Дмитра Миколайовича на тему «Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна» направлена на визначення більш доцільних методів прогріву двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря, обґрунтування та розробку системи, яка дозволяє скоротити час, поліпшити паливну економічність та зменшити емісію шкідливих речовин у відпрацьованих газах під час прогріву, за рахунок використання теплової енергії, яка акумульована в тепловому акумуляторі фазового переходу під час попередньої роботи двигуна за рахунок утилізації теплової енергії відпрацьованих газів.

Передані матеріали досліджень, отримані в дисертаційній роботі Трифонова Д.М. по впливу підігріву повітря на впуску під час пуску холодного двигуна та його прогріву свідчать про доцільність використання даного способу для поліпшення показників роботи двигунів з іскровим запалюванням в умовах низьких температур навколишнього повітря.

До використання прийняті наступні результати:

- експериментальні залежності зміни паливоекономічних, енергетичних та екологічних показників бензинових двигунів з різними системами живлення паливом від часу їх прогріву та пройденої відстані автомобілем в міських умовах;
- запропоновану методику оцінювання паливної економічності двигуна в процесі прогріву використанням коефіцієнта температурного впливу;
- рекомендації щодо вибору комбінованого методу прогріву двигуна автомобіля при його експлуатації в умовах низьких температур навколишнього повітря;
- методику обрання більш доцільної системи полегшення пуску холодного двигуна та зменшення часу його прогріву в умовах експлуатації;
- методику обрання та розрахунку теплових та конструктивних параметрів теплового акумулятора фазового переходу виходячи з особливостей конструкції автомобіля та умов його експлуатації.

Генеральний директор



Калина В.Е.