

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів і транспортних технологій**

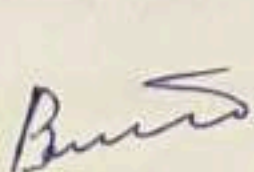
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня
бакалавр

Галузь знань 27 – «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

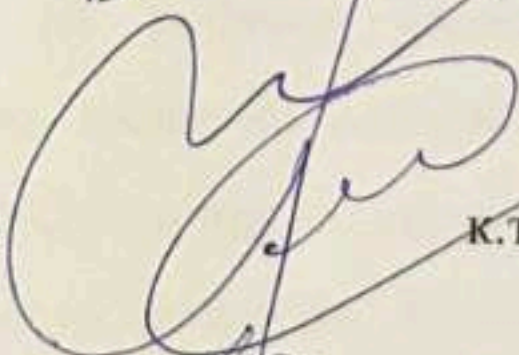
Тема: **«ПОКРАЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ДВИГУНА
АВТОМОБІЛЯ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ
ПІДГОТОВКИ»**

Виконав:



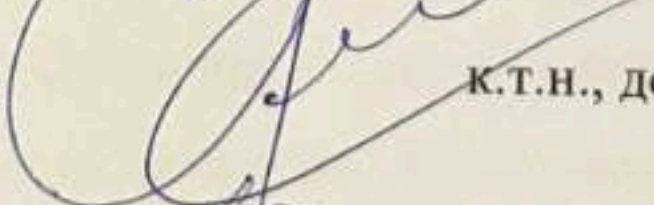
ст. групи ЗААГ-19 Андрій ВЕЛИЧКО

Керівник:



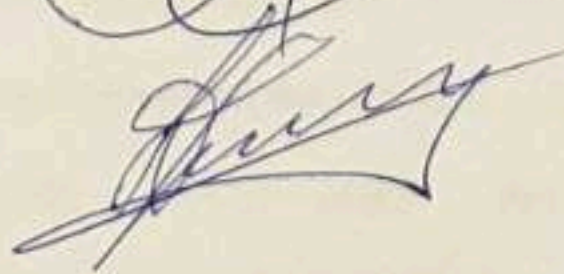
к.т.н., доц. Андрій ІЛЬЧЕНКО

Завідувач кафедри:



к.т.н., доц. Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Дмитро БЕГЕРСЬКИЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра: автомобілів і транспортних технологій

Освітній ступінь: «бакалавр»

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри А і ТТ

Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

«12» 04 2023 р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня бакалавр

Величко Андрія Володимировича

1. **Тема роботи:** «Покращення паливної економічності двигуна автомобіля застосуванням системи теплової підготовки» затверджена наказом вищого навчального закладу № 146 від «12» Квітня 2023 року
2. **Керівник роботи:** к.т.н., доц. Андрій ІЛЬЧЕНКО
3. **Строк подання студентом завершеної роботи:** 20.05.2023 р.
4. **Вихідні дані до роботи:** нормативно-правова документація; технічна література з питань паливної економічності автомобілів, теплової підготовки двигунів; дані, що зібрано під час проходження переддипломної практики; власні висновки, узагальнення, розробки та пропозиції.
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** Вступ, постановка задач роботи. 1. Вплив температури навколишнього середовища на двигуни автомобілів при пуску. 2. Аналіз систем підігріву двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів. 3. Основні відомості про тепловий акумулятор фазового переходу. 4. Вплив конструктивних

параметрів системи прогріву на паливну економічність двигуна автомобіля.

Загальні висновки. Список літератури.

Дата видачі завдання « 06 » лютого 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Дослідження літературних джерел та робіт за тематикою процесу експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану	17.02.2023	Виконано
2.	Постановка та дослідження проблеми експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану	24.02.2023	Виконано
3.	Основні заходи та засоби спрямовані на покращення експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану	08.03.2023	Виконано
4.	Методологічні аспекти нормування та вибір методики експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану	22.03.2023	Виконано
5.	Аналітична оцінка процесу експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану.	05.04.2023	Виконано
6.	Аналіз аналітичних розрахунків процесу експлуатації автомобільних шин в кліматичних умовах Туркменістану	19.04.2023	Виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки	26.05.2023	Виконано
8.	Рецензування	01.06.2023	Виконано
9.	Попередній захист	04.06.2023	Виконано
10.	Захист	12-30.06.2023	Виконано

Студент

Андрій ВЕЛИЧКО

Керівник роботи

Андрій ІЛЬЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота освітнього ступеня «бакалавр» присвячена покращенню показників паливної економічності дизельного двигуна за допомогою теплового акумулятора з фазовим переходом перед пуском і в процесі його прогріву після пуску.

В першому розділі розглянуто вплив температури навколишнього середовища на двигуни автомобілів при пуску, умови експлуатації транспортних засобів, наведено їх класифікацію.

Аналіз систем підігріву двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів проведено в другому розділі, показано основні системи передпускового підігріву двигунів транспортних засобів. Наведено системи передпускового прогріву двигунів транспортних засобів, характеристика транспортного засобу, що обрано для розрахунку параметрів роботи теплового акумулятора і особливості конструкції та характеристики двигуна MAN D2876 сідельного тягача MAN TGA.

Розділ 3 присвячено основним відомостям про тепловий акумулятор фазового переходу, наведено його будову та характеристики, проаналізовано процес прогріву двигуна автомобіля за допомогою теплового акумулятора фазового переходу, розроблено система прогріву двигуна автомобіля з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів.

В четвертому розділі проведено розрахунки часу прогріву двигуна та витрати палива в процесі прогріву з використанням розробленого теплового акумулятора з фазовим переходом і без нього.

В кінці роботи зроблено загальні висновки.

Ключові слова: автомобіль, тепла підготовка двигуна, підігрів, тепловий акумулятор, фазовий перехід, паливна економічність.

ABSTRACT

The qualifying work of the educational degree "bachelor" is devoted to improving the fuel efficiency of a diesel engine with the help of a heat accumulator with a phase transition before start-up and during its warm-up after start-up.

The first chapter examines the influence of ambient temperature on car engines during startup, operating conditions of vehicles, and their classification.

The analysis of the heating systems of internal combustion engines of vehicles is carried out in the second section, the main systems of pre-start heating of vehicle engines are shown. The vehicle engine pre-heating systems, the characteristics of the vehicle selected for the calculation of the operating parameters of the heat accumulator and the design features and characteristics of the MAN D2876 engine of the MAN TGA tractor unit are given.

Chapter 3 is devoted to basic information about the phase transition heat accumulator, its structure and characteristics are given, the process of warming up the car engine using the phase transition heat accumulator is analyzed, the car engine warm-up system with the exhaust gas thermal energy utilization subsystem is developed.

In the fourth chapter, the engine warm-up time and fuel consumption during the warm-up process were calculated using the developed heat accumulator with and without phase transition.

At the end of the work, general conclusions were made.

Key words: car, thermal preparation of the engine, heating, thermal accumulator, phase transition, fuel economy.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ДВИГУНИ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ПУСКУ ...

1.1. Умови експлуатації транспортних засобів

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДГРІВУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1. Основні системи передпускового підігріву/розігріву двигунів
транспортних засобів

2.1.1. Системи передпускового прогріву двигуна транспортного
Засобу

2.2. Характеристика транспортного засобу, що обрано для
розрахунку параметрів роботи теплового акумулятора

2.2.1. Особливості конструкції та характеристики двигуна
MAN D2876 сідельного тягача MAN TGA

2.3. Процеси теплової підготовки двигуна транспортного засобу

Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

3.1. Будова та характеристики теплових акумуляторів фазового переходу ...

Висновки до розділу 3

3.1. Прогрів двигуна автомобіля за допомогою теплового
акумулятора фазового переходу

3.2. Система прогріву двигуна автомобіля з підсистемою утилізації теплової
енергії відпрацьованих газів

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ

Висновки до розділу 4

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

ВСТУП

Перспективним напрямком удосконалення двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів є покращення їх паливної економічності. Зменшення витрати палива можливе широким переліком рішень, важливим з них є керування тепловим станом двигуна, на який в значній мірі впливають системи охолодження і змащування. Більшість сучасних двигунів внутрішнього згорання знаходяться в оптимальному з точки зору економічності тепловому стані лише на номінальних режимах роботи і навіть на цих режимах часто температури деталей циліндро-поршневої групи залишаються не оптимальними з точки зору паливної економічності. Це пов'язано з необхідністю тримати запас за температурами деталей циліндро-поршневої групи на випадок високих температур повітря навколишнього середовища, утворення відкладень в каналах системи охолодження та інших ситуаціях, які призводять до підвищення температур. В разі постійної зміни навантажень автомобільного двигунів транспортних засобів, температури деталей циліндро-поршневої групи постійно змінюються, що є наслідком недосконалості системи управління регулювання температури двигуна внутрішнього згорання.

В процесі роботи автомобільного двигуна його тепловий стан в більшості випадків не відповідає оптимальному. Особливо це відбувається в процесах передпускового та післяпускового прогріву двигуна роботи зі змінними навантаженнями. Така невідповідність теплового стану двигуна суттєво впливає на витрату палива.

В процесі пуску двигуна, особливо при негативних температурах навколишнього середовища, деталі циліндро-поршневої групи, системи охолодження і змащування мають низькі температури. Велика в'язкість масла в системі змащування призводить до поганого його прокачування, обмеженої подачі до деталей тертя, погіршенням змащувальних властивостей масла, збільшенню моменту опору обертання колінчастого валу. Це все ускладнює процес запуску, призводить до підвищеного зношування деталей

двигуна, збільшенню витрати палива. Це викликано супроводжується поганим сумішоутворенням, внаслідок конденсації палива на стінках циліндрів, клапанах та головках циліндрів.

Одним з шляхів підвищення ефективності двигуна є збільшення ефективності використання палива. Розглянувши тепловий баланс двигуна можливо зробити висновок, що з відпрацьованими газами відводиться значна кількість теплової енергії, і якщо її утилізувати та спрямувати на корисну роботу, а саме на теплову підготовку двигуна - це в кінцевому рахунку призведе до підвищення ефективності використання палива, а як слідство підвищиться ефективність двигуна в цілому.

Існують системи, які дозволяють покращити тепловий стан двигуна. Але дуже важливо дати правильну оцінку цим системам та знайти можливі способи та рішення, які б покращили тепловий стан двигуна та зменшили час прогріву після пуску двигуна і, як наслідок, покращення паливної економічності. З вищесказаного можливо зробити висновок про перспективність роботи, щодо створення та використання системи підтримання оптимального теплового стану двигуна транспортного засобу в залежності від різних кліматичних умов експлуатації, особливо при здійсненні пуску. Такою системою може бути система прогріву двигуна ТЗ, з підсистемами прискореного прогріву двигуна та утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу.

Мета роботи: розроблення системи теплової підготовки двигуна автомобіля з метою покращення його показників паливної економічності в процесі теплової підготовки двигуна

Для досягнення вказаної мети в роботі виконано наступні завдання:

- провести аналіз впливу температури навколишнього середовища на двигуни автомобілів при пуску з урахуванням існуючих умов експлуатації транспортних засобів;

- розглянути існуючі системи підігріву двигунів внутрішнього згорання, особливості конструкції та характеристики двигуна MAN D2876 сідельного тягача MAN TGA та процеси його теплової підготовки;

- навести будову та характеристики теплових акумуляторів фазового переходу, проаналізувати процес прогріву двигуна автомобіля за допомогою теплового акумулятора фазового переходу

- розробити систему прогріву двигуна автомобіля з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів;

- обрати найбільш привабливий спосіб теплової підготовки двигуна, проаналізувати процес прогрівання двигуна автомобіля з використанням додаткового джерела тепла, визначити показники паливної економічності двигуна в процесі його прогріву з використанням засобів теплової підготовки з застосуванням теплового акумулятора фазового переходу;

РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ДВИГУНИ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ПУСКУ

Пуск двигуна внутрішнього згорання автомобіля при позитивних температурах навколишнього повітря не викликає особливих труднощів. Крутний момент пускового пристрою (стартера) забезпечує необхідну частоту обертання колінчастого валу двигуна, яка в багатьох випадках значно перевищує за значенням необхідну її величину для пуску. В результаті цього створюються умови для нормального протікання процесів дозування палива, його випаровування, перемішування з повітрям і підготовки робочої суміші (сумішоутворення). Зазвичай при появі перших стійких спалахів в циліндрах двигун, якщо він знаходиться технічно в справному стані, починає працювати на стійкому режимі і підведення енергії від пускового пристрою припиняється.

При негативних температурах повітря пуск того ж самого двигуна не є стійким і супроводжується великими труднощами. Цей факт і обставини обумовлюються конструкцією самих двигунів внутрішнього згорання, особливостями протікання робочих процесів під дією негативних температур, а також суттєвими змінами фізичних властивостей палив, масел і матеріалів, що використовуються в двигунах. Частота обертання колінчастого валу двигуна внутрішнього згорання при пуску в умовах негативних температур повітря значно менша, ніж при пуску в комфортних температурних умовах, позитивних значеннях температур навколишнього повітря.

При відносно невеликих швидкостях обертання колінчастого валу двигуна внутрішнього згорання різко знижується тиск впорскування палива, що подається форсунками, одночасно із збільшенням в'язкості палива, погіршується його розпорошення та перемішування з повітрям, паливо-повітряна суміш стає неоднорідною з великою кількістю крапель палива, процес сумішоутворення протікає повільно, таким чином порушуються

нормальні умови стійкого спалахування і займання робочої суміші ще і через втрати тепла на нагрів стінок циліндрів.

Кожен пуск двигуна автомобіля за негативних температур без попереднього додаткового підводу тепла (розігріву або підігріву) призводить до інтенсивного зношування його основних деталей: циліндрів, поршневих кілець, шийок колінчастого валу тощо. Треба звернути увагу на те, що за амортизаційний термін служби двигуна автомобіля близько 70 % зносів його основних деталей пов'язано з пуском холодного двигуна, його роботою без вихода на робочу температуру (непрогрітий двигун) і особливо під навантаженням.

Холодне повітря, що поступає в циліндри двигуна, переохолоджує паливо і масло. Таке явище сприяє збільшенню і інтенсивності появи смолянистих відкладень на деталях допоміжних механізмів двигуна, кривошипно-шатунного, газорозподільного механізмів тощо, що значною мірою скорочує термін його служби і в більшості випадків призводить до руйнування основних деталей двигуна. При суттєвій різниці температур зовнішнього повітря і палива, що знаходиться в бакові автомобіля, волога яка міститься в повітрі, конденсується і, утворюючи іній, осідає на вільних від палива стінках бака. Вода, яка потрапляє в паливо, крім пригнічення процесів стійкого запуску двигуна автомобіля, викликає збільшення процесів корозії, зношування тощо.

В умовах зимової експлуатації автомобілів погіршуються також умови роботи механізмів і деталей трансмісії і підвіски. Розігрів масла в механізмах трансмісії при експлуатації автомобілів взимку часто проводиться за рахунок тепла, що виділяється від тертя при роботі під навантаженням.

Зниження температури навколишнього повітря від -5 до -15 °C призводить до такої зміни теплового режиму роботи двигуна, при якій потужність знижується до 98 і 96 % від нормальної, відповідно. При більш значному зниженні температури охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна збільшується відсоток віддачі тепла в навколишнє

середовище поверхнями блоку циліндрів. Це в свою чергу призводить зниження ефективності його роботи. Так, при зниженні середньої температури охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна з 75 до 35 °С втрати тепла зростають орієнтовно на 10 %. В науковій літературі зустрічаються дані, що в інтервалі температур повітря від -5 до -15 °С у двигуна автомобіля, який працює на необхідному тепловому режимі, потужність знижується приблизно на 5 %, а витрата палива зростає на 14 %.

Одним з найважливіших напрямків розвитку двигунів сучасних транспортних засобів є зменшення витрати палива та зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами [1-5]. Значну роль впливу на ці показники двигуна внутрішнього згорання має система охолодження. Головною задачею системи охолодження двигуна є відведення зайвої теплової енергії, перш за все від циліндрів двигуна, інших деталей, підтримання температури стінки циліндра в оптимальному діапазоні. Ще одною важливою функцією системи охолодження двигуна є забезпечення мінімального часу прогріву двигуна після пуску до мінімальної допустимої температури його деталей [6].

Тепловий стан двигуна внутрішнього згорання впливає на процеси утворення різних видів відкладень на його деталях, на показники їх міцності, на вихідні ефективні показники двигуна в цілому, на процеси зношування поверхонь деталей. В зв'язку з цим необхідно знати граничні допустимі температури деталей окремих зон двигуна, температуру в характерних точках, перевищення яких призводить до зазначених негативних явищ та негативних наслідків.

Двигун автомобіля найбільш ефективно працює лише в певних умовах. Однією з таких умов можна вважати оптимальний температурний режим теплонавантажених деталей, який і забезпечує високі значення технічних характеристик двигуна, зі зниженням зношування, відкладань і, отже, підвищенням надійності його роботи. Оптимальний тепловий стан двигуна внутрішнього згорання характеризується оптимальними температурами на

поверхнях теплонавантажених деталей. Аналізуючи дослідження багатьох авторів з процесів утворення відкладань на деталях двигунів, можна з достатньою ймовірністю визначити інтервали оптимальних і небезпечних температур поверхонь деталей двигунів відповідного класу [1-4, 7, 8]. Стверджується, що небезпечні й оптимальні інтервали температур поверхонь деяких деталей автомобільних двигунів [3, 9] мають значення, °С:

- днище поршня, головка циліндра до 130, 140 ...300;
- зона поршневих кілець до 70, 80...220;
- напрямна частина поршня до 60;
- внутрішня поверхня циліндра 70...190;
- картер двигуна до 40;
- клапанна коробка 50...140.

В таких діапазонах температур не порушується нормальний тепловий стан двигуна автомобіля. Важливим, як з точки зору економічності, так і з точки зору зношування деталей двигуна, є режим його пуску, особливо за негативних температур повітря.

Двигун безпосередньо після холодного пуску має низькі значення температур деталей відносно необхідних робочих значень. Для його прогріву необхідно мати чимало часу, а робота на невідповідному тепловому режимі призводить до підвищеного зношування деталей циліндро-поршневої групи і підвищеної витрати палива [10, 11]. Дані Технологічного інституту в Осло показують, що кожен холодний пуск двигуна (пуск в температурних умовах нижче 5 °С) автомобіля зменшує його ресурс на 400-600 км. пробігу [12]. Тому рекомендовано для транспортних засобів обов'язково користуватись передпусковими опалювачами салону (кабіни) і підігрівачами двигуна.

Відомі виробники передпускових опалювачів і підігрівачів рекомендують проводити теплову передпускову підготовку двигуна, коли температура повітря знизилась відмітки 5 °С. Завдяки цьому спостерігається

економія моторесурсу. Якщо врахувати, на території України спостерігається не менше 50...90 днів з температурою не більше 0 °С, то при застосуванні підігріву двигуна двічі в день можливо щороку заощадити моторесурс до 70000 км. Ще однією важливою причиною, яка ускладнює пуск холодного двигуна, є зменшення пускової частоти обертання колінчастого валу. Це є наслідком загустивання масла та низької енерговіддачі акумуляторної батареї. Удосконалюючи процеси пуску двигунів, треба не забувати, що до них сьогодні існують жорсткі вимоги щодо рівня токсичних викидів з відпрацьованими газами.

В залежності від наявності холодних пусків протягом року, застосувавши засоби теплової підготовки двигуна, викиди шкідливих речовин можна зменшити на 60- 80 %. Останні дослідження показують, що взимку після запуску холодного двигуна викид 90 % всіх шкідливих речовин СО і СН відбувається саме під час прогріву двигуна і перших кілометрів руху автомобіля. При запуску попередньо прогрітого двигуна автомобіля вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах зменшується значно (приблизно в 5 разів в залежності від температури навколишнього середовища), тому використання розігріву перед пуском двигуна в холодну пору року має суттєвий екологічний ефект [12]. Згідно з класифікацією основних напрямків полегшення холодного пуску всі пристрої передпускової теплової підготовки поділяються на системи (прилади, пристрої тощо), дія яких спрямована на передпускову підготовку двигуна та на системи (прилади, пристрої тощо), дія яких призвана скорочувати час прогріву двигуна вже після його запуску і сприяти виходу його на робочу температуру.

Аналіз останніх наукових досліджень показав, що одним із шляхів підвищення ефективності теплової підготовки двигуна автомобіля є використання в складі систем охолодження теплових акумулюючих засобів, що представляють собою сукупність елементів енергетичного обладнання та теплові акумулятори фазового переходу [1-9]. Дослідження в цій області як правило зосереджені на одержанні ефективних теплоакumuлюючих

матеріалів, вирішенні питань щодо їх корозійної сумісності з існуючими конструкційними матеріалами, визначенні критичного числа термічних циклів типу «заряд-розряд» («накопичення енергії-віддача енергії»), розробці схем теплоакumuлюючих систем у складі систем двигунів транспортних засобів. Не зважаючи на велику кількість публікації, що присвячено питанням накопичення теплової енергії в системах енергетичних установок і двигунах транспортних засобів, до теперішнього часу ще залишаються відкритими і не вирішеними питання вибору раціональних, економічно доцільних схем теплоакumuлюючих систем теплової підготовки двигунів внутрішнього згорання для транспортних засобів з повним урахуванням особливостей їх режимів роботи в експлуатації.

1.1. Умови експлуатації транспортних засобів

Транспортні засоби розробляють і створюються для певних умов їх використання (експлуатації), тому досконалість їх конструкції має розглядатися з оглядом саме на ці умови. Вони поділяються на:

- транспортні;
- природно-кліматичні;
- дорожні.

Транспортні умови перш за все характеризуються особливостями вантажу, що перевозиться, його видом, категорією, фізико-хімічними властивостями тощо. Також характеристикою транспортних умов є саме організація перевезень, включаючи особливості планування і проведення вантажно-розвантажувальних робіт. Ці умови залежать від таких техніко-експлуатаційних характеристик автомобіля, як:

- вантажопідйомність;
- місткість кузова;
- пристосованість для вантажно-розвантажувальних робіт;
- запас ходу та інші.

Природно-кліматичні умови характеризуються температурою і вологістю повітря, їх річними сезонними і добовими коливаннями, а також швидкістю вітру. За цими показниками всі умови експлуатації автомобіля розрізняють по кліматичних зонах:

- помірного;
- холодного (арктичного);
- жаркого клімату.

Дорожні умови в свою чергу визначаються:

- типом і станом дорожнього покриття;
- типом і станом дорожніх споруд (вузлів, мостів, шляхопроводів, естокад тощо);
- рельєфом місцевості;
- інтенсивністю руху.

Від вибору і роботи в певних дорожніх умовах залежить максимальне навантаження фактично на всі агрегати і системи автомобіля, а також його основні техніко-експлуатаційні показники: тягово-динамічні, економічні, гальмівні характеристики, стійкість, керованість, плавність ходу, прохідність тощо.

В реальних умовах експлуатації транспортні засоби рухаються нерівномірно. При цьому можлива поява нерівномірно-циклічного руху. Цикл руху складається з ділянок прискорення (розгону), рівномірного руху, руху з уповільненням і гальмування. Ступінь цієї нерівномірності руху може характеризуватись середньою частотою прискорень (розгонів), яка визначається в основному наступними чинниками:

- дорожні умови;
- питома потужність двигуна автомобіля.

Для нормальних умов експлуатації становить кількісь розгонів автомобіля знаходиться в межах 20...80 разів/год.

Наявність перешкод руху транспортного засобу обумовлює необхідність зниження його швидкості. Природа таких перешкод різна. На дорогах з асфальтобетонним покриттям найбільш характерними перешкодами є:

- рухомі та нерухомі транспортні засоби і пішоходи;
- перехрестя;
- зони обмеження швидкості;
- зони з обмеженою видимістю тощо.

На ґрунтових і кам'яно-щебених дорогах зниження швидкості транспортного засобу як правило залежить від:

- наявності нерівностей;
- кількості і радіусів крутих поворотів;
- можливістю викидання каменю (щебеню з-під коліс зустрічних транспортних засобів).

Перешкоди руху від інших транспортних засобів на таких дорогах не є суттєвими внаслідок малої інтенсивності руху. При збільшенні опору руху зменшується інтенсивність розгонів/уповільнень і, відповідно, їх середня частота. Практика показує, що вона залежить не стільки від опору руху, скільки від наявного у транспортного засобу запасу потужності, який може бути реалізований для розгону. Чим більше цей резерв, тим, відповідно, частота розгонів може бути вищою.

Транспортні умови визначаються в основному призначенням автомобіля, цого універсальністю, конструктивними параметрами, експлуатаційними властивостями тощо. Тобто транспортні умови експлуатації впливають на тип і модифікацію рухомого складу, що

обирається для застосовування, а також основні показники ефективності використання транспортних засобів:

- коефіцієнти використання вантажопідйомності;
- коефіцієнти використання пробігу
- собівартість перевезень тощо.

Природно-кліматичні умови в Україні поділяються на кілька зон з кліматом:

- помірним;
- холодним;
- жарким;
- високогірним.

Основною характеристикою будь-якої кліматичної зони, що істотно впливає на повноту реалізації експлуатаційних властивостей автомобілів, є температура навколишнього повітря, яка в нашій країні сезонно змінюється в досить широкому діапазоні.

Зміна атмосферних умов впливає на роботу не лише двигуна транспортного засобу, а призводить до зміни всіх його експлуатаційних властивостей. Нормативні значення оціночних параметрів, що наводяться в довідковій літературі, стосуються нових автомобілів і стандартних умов експлуатації: температура навколишнього повітря $+25^{\circ}\text{C}$, атмосферний тиск 750 мм рт. ст., дорога для їх визначення - прямолінійна, горизонтальна з цементобетонним або асфальтобетонним рівним покриттям. Але, в реальності ці умови суттєво відрізняються від стандартних і дуже мало часу протягом всього періоду експлуатації автомобіль працює саме в таких кліматичних і /або дорожніх умовах.

Істотне відхилення температури навколишнього повітря від стандартного значення ($+25^{\circ}\text{C}$) як у бік зниження до (-20°C), так і в бік підвищення викликає порушення нормального теплового режиму двигуна

(95...100 °C) і, як наслідок, - погіршення показників тягово-швидкісних властивостей і збільшення витрати палива і токсичних викидів з відпрацьованими газами двигуна внутрішнього згорання. Під час роботи транспортного засобу в високогірних умовах відбувається зниження потужності двигуна внаслідок зменшення тиску повітря і, відповідно, коефіцієнта наповнення циліндрів. В результаті такого зменшення середня швидкість руху вантажних транспортних засобів в гірських умовах приблизно на 40...50 % нижче, а витрата палива на 10...15 % вище, ніж в рівнинній місцевості.

В загальному випадку транспортні засоби використовуються в різних кліматичних зонах, які значно відрізняються від стандартно прийнятих значень кліматичних чинників і їх впливів. Так, наприклад, середня річна температура повітря в нашій країні має дуже широкий діапазон значень від +16 °C (жаркий сухий клімат) до -16 °C (холодний клімат), середня вологість повітря може змінюватись від 20 % (жаркий сухий клімат) до 80 % і більше (помірно-вологий клімат). Навіть всередині однієї і той же кліматичної зони значення кліматичних факторів протягом року змінюються в дуже широких межах. Так, в помірно-кліматичній зоні (Херсонська область) середня добова температура протягом року коливається від +30 °C до -15 °C.

Все перераховане свідчить про важливість і необхідність брати до уваги вплив конкретних умов експлуатації на техніко-експлуатаційні властивості транспортних засобів з метою правильного вибору способу теплової підготовки їх двигунів.

Таким чином можна вважати, що на стійке спалахування і наступне згорання палива-повітряної суміші в циліндрі двигуна внутрішнього згорання впливають основні чинники:

- якість сумішоутворення;
- пускова швидкість обертання колінчастого валу;
- температура кінця такту стиску.

Нестабільна робота системи впорскування палива має місце у випадках, коли підвищується в'язкість палива, яка, в свою чергу, залежить від його температури і кількості підведеного додаткового тепла. Низькі температури призводять до недостатнього наповнення циліндрів двигуна свіжим повітрям і нестабільному спалахуванню в процесі пуску двигуна. Ефективно усунути цю причину дозволяє підігрів заряду на впуску.

Температура кінця такту стиску на початковому етапі пуску суттєво залежить від температури стінок циліндра, на яку в свою чергу має вплив додатково підведене до двигуна тепло.

Низька швидкість обертання колінчастого валу має місце з двох причин: зниження енергії стартера і зростання опору тертя в деталях двигуна. Енергія, що підводиться стартером до колінчастого вала двигуна в основному залежить від енергії, яку віддає акумулятор. На величину цієї енергії впливає, крім ступеню розрядженості акумуляторної батареї, ще і температура електроліту в акумуляторі.

Зростання опору тертя в деталях двигуна внутрішнього згорання пов'язане з підвищеною в'язкістю масла в системі змащування, яка також залежить від температури навколишнього середовища і кількості попередньо підведеного тепла до двигуна.

Низька температура кінця такту стиску залежить, крім всього іншого, від температури стінок циліндра, забезпечення підігріву яких дозволить сприяти кращому прогріванню свіжого заряду і, відповідно, стійкому запалюванню паливо-повітряної суміші.

З вищенаведеного витікає, що практично всі причини нестійкого пуску двигуна внутрішнього згорання вдається усунути за допомогою його теплової підготовки, яка забезпечить скорочення часу на пуск, зменшення витрат палив, покращення умов тертя в механізмах двигуна та зменшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами двигуна.

Висновки до розділу 1:

1. Проаналізовано вплив факторів, які впливають на стійкість пуску двигуна внутрішнього згорання. Основним з них треба вважати температуру навколишнього середовища, яка погіршує якість сумішоутворення, зменшує швидкість обертання колінчастого валу та знижує температуру кінця такту стиску.

2. Представлено огляд існуючих умов експлуатації транспортних засобів в Україні, доведено необхідність їх врахування під час вибору способів теплової підготовки двигунів транспортних засобів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ПІДГРІВУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Системи підігріву та прогріву двигунів внутрішнього згорання однозначно можуть застосовуватись як перспективні індивідуальні системи отримання, накопичення, передачі і розподілу енергії тепла. Вони призначені для післяпускової та/або передпускової теплової підготовки двигунів транспортних засобів двигуна внутрішнього згорання, що не працює. Таке ставлення спеціалістів з експлуатації автомобілів до систем підігріву стало можливим завдяки тому, що:

- існує дуже велика кількість різноманітних випробуваних і перспективних технічних рішень з цього напрямку;
- в останні роки з'являється багато різних конструкцій систем підігріву двигунів нових типів;
- системи підігріву або їх окремі складові частини випускаються невеликими партіями вітчизняними і закордонними підприємствами (відсутній їх масовий випуск).

В зв'язку з цим представляється необхідним виконати аналіз відомих схем і конструкцій систем підігріву двигуна і на основі цього аналізу відкорегувати можливість і порядок їх використання в конкретних умовах експлуатації автомобіля. Основні визначення і поняття, які стосуються систем прогріву двигуна внутрішнього згорання, наведено в [7], де стосовно систем прогріву двигунів внутрішнього згорання, так і в іншій технічній літературі найчастіше зустрічається термін «система прогріву тепловозів маневрових» [11]. Це пов'язано з тим, що такі системи в першу чергу було розроблено для великих за потужністю, розмірами та місткістю систем охолодження та змащування двигунів внутрішнього згорання, тобто для двигунів маневрових тепловозів. Але, останнім часом спостерігається поява і використання таких систем для двигунів транспортних засобів.

Принцип роботи системи прогріву заснований на підігріві і підтриманні необхідної передпускової температури охолоджувальної рідини і масла в системі змащування дизеля на основі аналізу інформації про температури навколишнього середовища і двигуна внутрішнього згорання. Для реалізації вказаного підходу в системі використовуються пристрої та вимірювальна апаратура, які поділяються на функціональні групи за наступним призначенням та функціями:

- група приладів контролю і управління;
- група передачі даних;
- апаратура постачання електричної енергії;
- пристрої підігріву.

Прилади контролю і управління призначено для забезпечення системи інформацією про температури навколишнього повітря, охолоджувальної рідини системи охолодження та масла системи змащування дизеля, відсутність або наявність руху транспортного засобу, стан апаратури електропостачання та вторинного електроживлення, а також пристроїв підігріву. Вони виконують аналіз отриманої інформації та за необхідністю формують керуючі команди.

Група апаратури передачі даних призначена для формування повідомлень про стан системи підігріву двигуна та для подальшої передачі цієї інформації за бездротовими каналами зв'язку стандарту GSM за протоколом GPRS і /або іншими.

Апаратура опостачання електричної енергії призначена для забезпечення системи підігріву електроенергією і розподілу її між різними споживачами системи.

Пристрої підігріву призначені для підігріву охолоджувальної рідини та масла в системі змащування двигуна.

Інформація про використання аналогічних систем або перспективних схем систем акумуляції тепла для підігріву двигунів і/або аналогічні діючі

системи теплової підготовки двигунів транспортних засобів є дуже обмеженою.

Для подальшого формування перспективних схем систем теплової підготовки в науково-технічній літературі пропонується не тільки для локомотивних двигунів, а і для суднових теплоакумуючих систем, для всіх без виключення двигунів внутрішнього згорання колісних транспортних засобів використовувати термін «системи прогріву», якщо в передпусковому і після пусковому прогріві виникає така потреба. Це положення і підхід є актуальним і своєчасним для розробки, проектування, створення і експлуатації систем підігріву на основі теплових акумуляторів фазового переходу, а також в галузі матеріалознавства фазоперехідних елементів теплових акумуляторів [5].

Регулювання за допомогою систем підігріву з тепловим акумулятором теплового стану двигуна транспортного засобу позитивно впливає на його паливну економічність, екологічні характеристики та ресурс. Таке регулювання може здійснюватись:

- зміною температури та витрати потоку рідини в системі охолодження двигуна;
- зміною витрати потоку повітря, що охолоджує двигун і його елементи (радіатор, блок і головка блоку циліндрів).

Для цього можна запропонувати використання термостатів (як рідинних, так і повітряних), систем з термостатами, можливість включення/відключення вентилятора(ів), систем регулювання обертів ротора вентилятора, теплових акумуляторів в системі охолодження і змащування двигуна, багатосекційних одно та різнотемпературних теплових акумуляторів в системі охолодження двигуна і системі змащування, теплової енергії системи охолодження і відводу відпрацьованих газів, утилізації теплової енергії відпрацьованих газів за допомогою теплових акумцляторів, накопичення енергії від сторонніх джерел, тощо [7].

Проведений аналіз науково-технічної літератури показує, що цим розробкам приділяється серйозна увага, схеми і конструкції систем удосконалюються з метою підвищення ефективності їх роботи, підвищується коефіцієнт корисної дії системи, що сприяє зниженню витрати палива та зменшенню шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунами транспортних засобів в умовах експлуатації.

2.1. Основні системи передпускового підігріву/розігріву двигунів транспортних засобів

Використання енергії відпрацьованих газів є одним із пріоритетних напрямків розвитку конструкції сучасного двигуна внутрішнього згорання. Це стає можливим через встановлення в випускному трубопроводі двигуна спеціальних утилізаційних теплообмінників, які відбирають, зберігають і за необхідністю віддають частину теплової енергії відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання.

Задачу утилізації теплової енергії відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання з метою отримати та в подальшому використовувати гарячий теплоносіє пропонується через встановлення в системі відводу відпрацьованих газів двигуна теплового акумулятора фазового переходу [12]. Такий акумулятор дозволяє здійснювати відбір теплової енергії від відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання в широкому температурному діапазоні і тим самим накопичувати і утримувати велику кількість теплоти. Це також дає можливість забезпечити вибірковість діапазону робочих температур двигуна в процесі експлуатації.

З цією метою може бути запропоновано розробити систему теплової підготовки двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу, в якій через використання теплового акумулятора фазового переходу в системі охолодження двигуна транспортного засобу підтримувати температуру і охолоджувальної рідини в системі охолодження при зупиненому двигуні в межах $+40...+55$ °C при низьких температурах повітря навколишнього

середовища, а при зменшенні температури теплоносія в тепловому акумуляторі нижче встановленої - підтримка температури в необхідних встановлених межах за рахунок використання теплоти відпрацьованих газів транспортного двигуна. При цьому можна запропонувати це через алгоритм з періодичною зміною режимів роботи та зупинки, тобто роботи в циклічному режимі.

Проведений аналіз систем передпускового підігріву та подальшого прогріву двигунів транспортних засобів, а також систем підтримання необхідної обраної температури охолоджувальної рідини двигуна транспортного засобу з використанням теплового акумуляторів фазового переходу і результати досліджень дозволяють прийняти за основу класифікацію теплових акумуляторів фазового переходу, які конструктивно можливо використовувати для експлуатації двигунів транспортних засобів. Це потрібно для того, щоб у процесі подальших досліджень і проектування теплових акумуляторів і систем на їх основі були визначені можливі перспективи розвитку їх схем, конструктивних рішень та використання фазоперехідного теплоакumuлюючого матеріалу.

Теплові акумулятори фазового переходу за видом фазового переходу поділяються на акумулятори, що використовують ефект плавлення-кристалізації, або поліморфне перетворення в твердій фазі. Це залежить від фізико-хімічних властивостей робочого тіла акумулятора і впливає на його коефіцієнт корисної дії та вартість.

Теплова енергія в акумуляторах фазового переходу може накопичуватись від різних теплоносіїв:

- охолоджувальна рідина двигуна;
- відпрацьовані гази;
- з використанням енергії електричного струму;
- експлуатаційні рідини двигуна;
- повітря.

Охолоджувальна рідина системи охолодження двигуна має робочу температуру близько 100 °С. В двигунах транспортних вантажних автомобілів її за об'ємом може бути більше 40 літрів. Наприклад, в двигуні ЯМЗ-238 автомобіля КрАЗ-260 з системами охолодження, що обладнано підігрівачем двигуна, вивикористовується 48 л рідини. Таким чином, можна утилізувати тепло, що накопичується в системі охолодження, з подальшим його використанням.

Температура відпрацьованих газів сучасного двигуна на виході з глушника автомобіля може бути вищою на 30-40 °С за температури навколишнього середовища. Але, на виході з циліндра двигуна на початку такту випуску вона сягає 750-900 °С, в кінці такту випуску вона дорівнює 500-600 °С. Враховуючи швидкість відпрацьованих газів на випуску, можливо одночасне використання їх кінетичної енергії [35].

За допомогою електричної енергії, яка накопичується в акумуляторній батареї або виробляється генератором автомобіля, можна отримати додаткове тепло, зберігаючи його в акумуляторах фазового переходу з подальшим використанням для підводу тепла до двигуна внутрішнього згорання перед його пуском.

Експлуатаційні рідини і повітря навколишнього середовища не є суттєвим джерелом додаткової енергії, яку можна використовувати для підігріву двигуна перед пуском. Скоріше ці джерела можуть розглядатись як допоміжні до інших, що розглянуто попередньо.

Теплові акумулятори фазового переходу для двигунів транспортних засобів і енергетичних установок також поділяються за типами теплоакумулюючих матеріалів на основі фазових перетворень. Теплоакумулюючі матеріали на основі фазових перетворень поділяються на:

- неорганічні;
- органічні;
- евтектики.

Неорганічні в свою чергу виготовляють на основі:

- легкоплавких металів і сплавів;
- хімічних сполук (сіль і на її основі);
- кристалогідратів.

До органічних відносяться:

- низькомолекулярні сполуки;
- парафіни;
- оліго- та полімери.

Евтектики поділяють на:

- неорганічні;
- органічні;
- комбіновані.

Теплові акумулятори фазового переходу для двигунів транспортних засобів і енергетичних установок за видом теплоносіїв для віддачі накопиченої теплової енергії. Це теплоносії:

- охолоджувальна рідина, масло в системі змащування, експлуатаційні рідини двигуна;
- відпрацьовані гази двигуна;
- повітря на впуску;
- спеціальні рідини;
- конструктивні елементи двигуна.

Теплові акумулятори фазового переходу для двигунів автомобілів та енергетичних установок поділяються за призначенням, їх розробляють та використовують з метою:

- передпускового підігріву/розігріву;
- покращення теплового навантаження на двигун та його деталі;

- охолодження повітря;
- приведення агрегатів;
- задовільнення побутових потреб;
- для локальної дії.

За кількістю секцій теплові акумулятори бувають:

- односекційні;
- багатосекційні.

Багатосекційні поділяють на:

- однетемпературні/різнотемпературні;
- в одному корпусі/в рознесених корпусах;
- з паралельним/послідовним/комбінованим розташуванням секцій;
- за складом теплообмінників і способом передачі теплової енергії.

Останні, в свою чергу, поділяються на ті, що маєть в своєму складі:

- один теплообмінник, за яким здійснюється накопичення/віддача енергії;
- два і більше теплообмінників, при цьому накопичення енергії здійснюється за допомогою різних теплообмінників, а віддача енергії – за допомогою одного, температура якого адаптована для об'єкта застосування утилізованої теплоти;
- два і більше теплообмінників, при цьому накопичення/віддача енергії проводиться за допомогою різних теплообмінників з однією температурою;
- два і більше теплообмінників, при цьому накопичення/віддача енергії проводиться за допомогою різних теплообмінників з різною температурою.

Також теплові акумулятори фазового переходу для двигунів автомобілів та енергетичних установок поділяють за кількістю різних теплоакумулюючих матеріалів в одному (ій) теплоакумуляторі (- ній секції):

- з одним матеріалом, що використовується;
- з декількома матеріалами.

За типом теплоізоляції теплові акумулятори фазового переходу бувають:

- з вакуумною ізоляцією;
- з використанням теплоізоляційних матеріалів;
- з комбінованою теплоізоляцією.

Теплові акумулятори фазового переходу для двигунів автомобілів та енергетичних установок використовують з різним типом теплообмінника:

- капсульним (з нерухомою жорсткою стінкою, з еластичною пружною стінкою);
- трубним або кожухотрубним (з гладких або оребрених труб);
- із скребковим видаленням теплоакумулюючого матеріалу;
- з прямим контактом і прокачуванням теплоакумулюючого матеріалу;

За способом і характером віддачі енергії від теплоакумулятора теплові акумулятори фазового переходу поділяються на:

- глобальні;
- локальні;
- активні;
- пасивні.

За робочою температурою вони бувають:

- ≤ 0 °C;

- 0...200 °C;
- 200...600 °C.

Вибір робочої температури теплові акумулятори фазового переходу залежить від багатьох факторів. Основні з них: температура джерела теплової енергії, матеріал і конструктивне виконання акумулятора, необхідна температура об'єкта, що поглинає теплову енергію.

На рис. 2.1. наведено класифікацію теплових акумуляторів фазового переходу, яка розроблена за основними вищенаведеними ознаками на основі відомих та перспективних конструкцій теплових акумуляторів. За основу предствленої класифікації прийнято попередньо представлену в літературних джерелах класифікацію теплових акумуляторів [6-8].

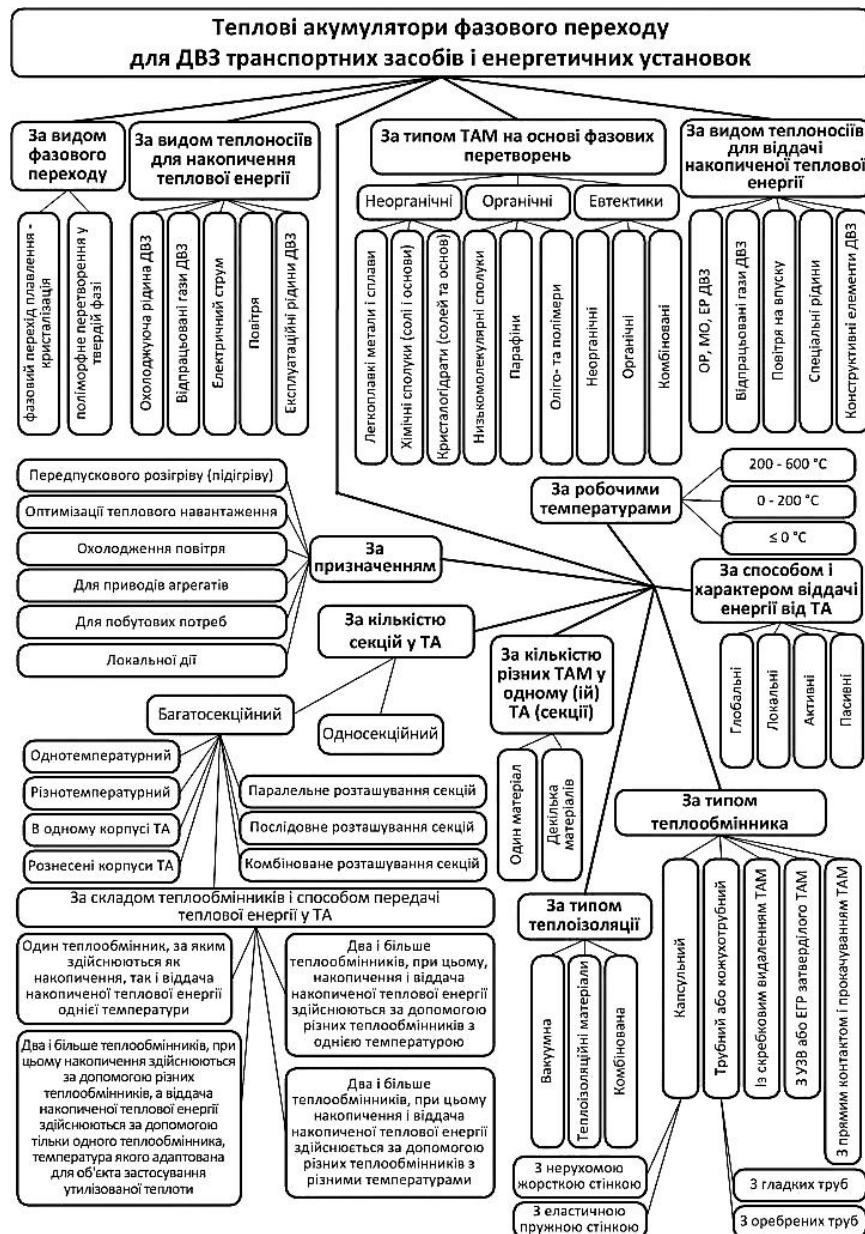


Рис. 2.1. Класифікація теплових акумуляторів фазового переходу для двигунів автомобілів

Удосконалена класифікація має широкую перспективу щодо удосконалення в процесі розвитку теорії та практики реальної експлуатації з акумуляування теплової енергії на транспорті. Вона дозволить в подальшому доповнити її новими конструкціями і ознаками теплових акумуляторів, розширити сферу їх застосування та з різними теплоакумуючими матеріалами тощо.

Також визначено особливості впливу температур навколишнього середовища на двигуни транспортних засобів. Встановлено, що на такі

двигуни значно впливають кліматичні зміни і особливо температурні умови експлуатації. Таким чином при їх проектуванні необхідно враховувати їх здатність працювати в різних умовах впливу навколишнього середовища.

Кліматичні (погодні) зміни викликають в свою чергу зміни загальної витрати палива, кількості відпрацьованих газів і температур двигуна транспортного засобу. В реальних умовах експлуатації транспортних засобів існують значні втрати тепла, яке уходить в навколишнє середовище. Використання такого тепла необхідно для підвищення коефіцієнта корисної дії двигуна в цілому та можливо через застосування засобів накопичення або утилізації його теплової енергії. Це забезпечить підвищення ефективності роботи двигуна транспортного засобу, в тому числі в режимі його пуску через використання передпускового прогріву рідини системи охолодження та масла системи змащування.

2.1.1. Системи передпускового прогріву двигуна транспортного засобу

Відомі і широко представлені сучасними виробниками системи передпускового прогріву двигунів автомобілів. Це рідинні опалювачі (рідинні автономні опалювачі) фірм «Webasto» (рис. 2.2) і «Eberspächer» (рис. 2.3.), які працюють незалежно від двигуна і в поєднанні зі штатною системою опалювання автомобіля, який має двигун з рідинною системою охолодження або в складі окремої системи опалювання, призначені для передпускового прогріву двигуна [5].

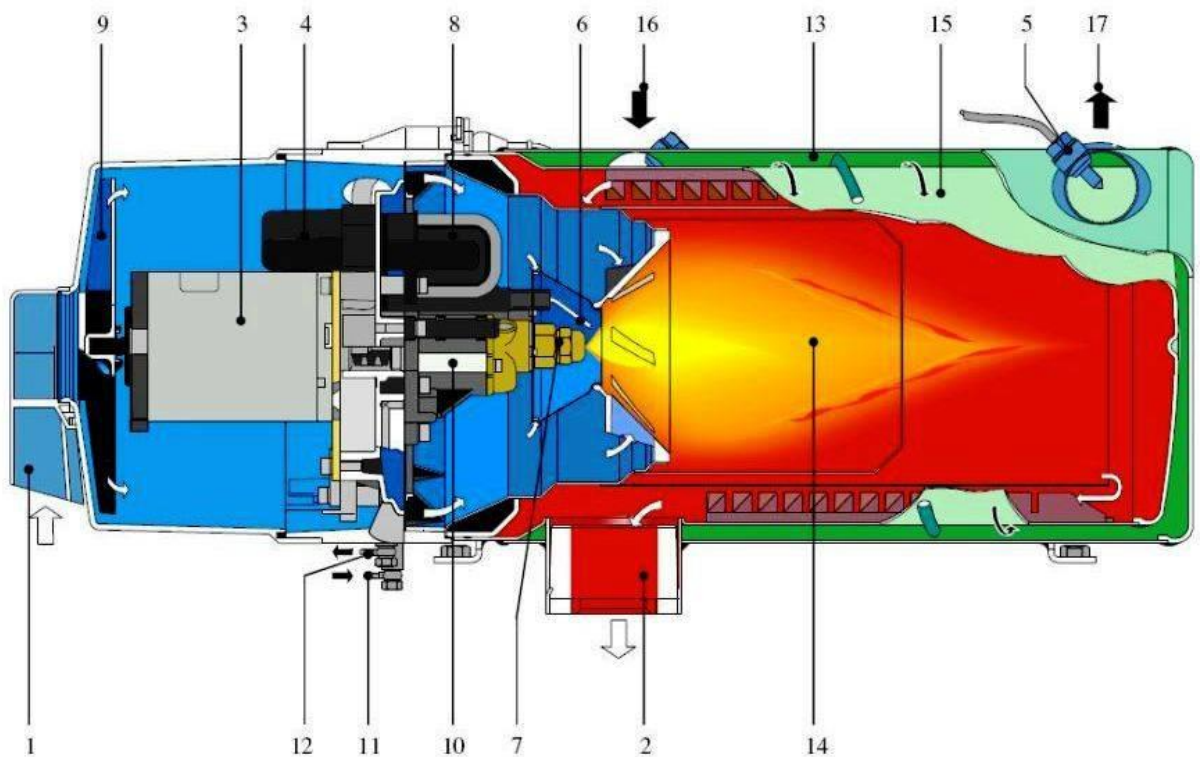


Рис. 2.2. Передпусковий рідинний автономний опалювач «Webasto»: 1 - забір повітря для горіння; 2 - вихід відпрацьованих газів; 3 – двигун нагнітача; 4 - блок керування; 5 - датчик температури; 6 - електроди запалювання; 7 - форсунка; 8 - високовольтна котушка запалювання; 9 - крильчатка нагнітача; 10 - паливний насос; 11 - штуцер подачі палива; 12 - штуцер зворотного паливопроводу; 13 - рідинний контур; 14 - камера згорання; 15 - корпус теплообмінника; 16 - подача робочої рідини; 17 - вихід робочої рідини



Рис. 2.3. Обігрівач Eberspacher Airtronic D2

Eberspacher Airtronic D2 розроблений для обігріву легкових автомобілів, невеликих кабін вантажівок, сільськогосподарської та будівельної техніки. Двохкіловатний обігрівач працює автономно, підключається до штатного паливного баку. Він дозволяє швидко і безпечно обігріти салон автомобіля і підтримувати комфортну для перебування водія і пасажирів температуру протягом досить тривалого часу.

Не всі автомобілі мають систему опалювання, яка здатна забезпечити комфорт високого рівня, особливо в зимовий період. Це більше стосується автомобілів з гібридною або електричною силовою установкою. Треба підкреслити, що зусилля конструкторів автомобілів в більшості спрямовано на покращення показників економічності двигуна. Це призводить до того, що все більша енергія палива, що згорає, перетворюється на енергію, яка підводиться до ведучих коліс автомобіля і лише мала її частка переходить в теплову енергію. Тому багато сучасних автомобілів укомплектовуються автономним обігрівачем безпосередньо виробником.

Автономний обігрівач Eberspacher Airtronic D2 відрізняється високою надійністю і економічністю. Він споживає всього 12 Вт електроенергії і 150 грам палива на годину на режимі середньої потужності і при цьому виробляє 1,2 кВт тепла. На режимі повної потужності обігрівач видає 2,2 кВт, споживаючи всього 34 Вт електроенергії і 280 грам палива.

При цьому в салоні створюється комфортний мікроклімат, чадний газ і застій повітря відсутні, що в свою чергу сприятливо позначається на самопочутті і здоров'ї пасажирів і водія.

В комплексний пакет входить: автономний обігрівач Eberspacher Airtronic D2, монтажний комплект (без пульта управління). Повітряний автономний обігрівач Eberspacher airtronic D2 має наступні техніко-експлуатаційні характеристики:

- максимальна потужність нагріву, кВт – 2,2;
- витрата дизельного (біодизельного) палива, л/год - 0,28;
- споживання електроенергії при роботі, Вт - 34;
- витрата повітря, м³/год – 92;
- застосування: легкові автомобілі, мікроавтобуси, кабіни вантажних автомобілів, кунги;
- вентиляція в літню пору: так;
- циркуляція свіжого повітря: так;
- габаритні розміри, мм - 310X115X122;
- діагностика несправностей - так;
- вага, кг - 2,7.

Системи передпускового прогріву фірми «Webasto» і «Eberspächer» поряд з позитивними показниками мають і ряд негативних:

- додаткове пожежонебезпечне обладнання в підкапотному просторі транспортного засобу (відкритий котел);
- додаткова витрата палива;
- необхідність кваліфікованого та дорогого технічного обслуговування;

- дорогі та не ремонтпридатні механізми системи;
- збільшує сумарний рівень шуму транспортного засобу.

Широкого використання знайшли теплові акумулятори, тобто пристрої, які дозволяють при роботі двигуна автомобіля запасати тепло з охолоджувальної рідини або відпрацьованих газів двигуна, а потім віддавати це тепло двигуну перед наступним запуском при низьких температурах повітря навколишнього середовища [7].

Серед вказаних пристроїв окремо можливо виділити, так звані теплові акумулятори фазового переходу, які розроблено і з'явилися в кінці 80-х, початку 90-х років ХХ-го століття. В роботах Шульгіна В.В. і Грицука І.В. [8, 9] розглянуті питання застосування теплові акумулятори фазового переходу в системах передпускового підігріву транспортних двигунів, показані результати попередніх дослідників, представлений огляд існуючих конструкцій, методики конструкторських розрахунків вказаних пристроїв, розглянуто питання вибору теплоакумуючого матеріалу, а також запропоновані нові конструкції теплових акумуляторів фазового переходу і систем для їх використання. Автори підкреслюють, що основним недоліком широкого використання теплових акумуляторів фазового переходу на автомобілях є відсутність розвинутої мережі їх технічного обслуговування і ремонту.

Відомий також «Пристрій полегшення пуску двигуна» компанії «АвтоПлюсМАДІ», який побудовано з використанням теплового акумулятора фазового переходу, який має подвійний металевий циліндр з вакуумною ізоляцією [10]. Носій тепла – це охолоджувальна рідина двигуна автомобіля (тосол або антифриз). В процесі роботи двигуна спеціальним насосом системи гаряча охолоджувальна рідина періодично закачується в тепловий акумулятор, (заряджає його). В результаті цього, після зупинки двигуна в тепловому акумуляторі знаходиться гаряча охолоджувальна рідина, яка з плином часу все ж остигає.

Вперше серійний тепловий фкумулятор фазового переходу для використання на автомобільних двигунах запропонував німецький інженер О. Schatz в кінці 90-х років минулого століття. Сьогодні канадська фірма «CENTAUR Thermal System Inc» випускає теплові акумулятори фазового переходу чотирьох типів, конструкція одного з них представлена на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Тепловий акумулятор фазового переходу «CENTAUR»

Це завершена конструкція, в якій в порожнині з глибоким вакуумом для теплоізоляції розташовано внутрішні трубки. Процеси накопичення енергії та її віддача керуються вбудованим інтегральним блоком управління.

В менш складних відомих системах передпускового прогріву автомобільного двигуна відомо використання в якості зберігаючого тепло пристрою термоса з подвійною металевою колбою [11]. Відмінною особливістю деяких модифікацій акумуляторів тепла є передбачена можливість підігріву охолоджувальної рідини двигуна за допомогою вбудованих теплових електричних нагрівачів (ТЕНів) в пристрій-накопичувач.

В конструкції теплових акумуляторів, в яких робочою речовиною є рідина системи охолодження двигуна, є ще важливий недолік. Він пояснюється тим, що температура охолоджувальної рідини двигуна автомобіля не може бути достатньо високою (рівною температурі її закипання). Тому в процесі проведення передпускового підігріву двигуна автомобіля в умовах експлуатації ніколи не досягається постійна температура, що рекомендована для «гарячого» пуску, яка повинна бути 50 °С. Це пов'язано з природним охолодженням конструктивних елементів двигуна. Також в процесі виконання передпускового підігріву нагріта охолоджувальна рідина в тепловому акумуляторі буде змішуватись з рідиною, яка залишилася в системі охолодження двигуна і яка має температуру навколишнього середовища.

В Україні тепловий акумулятор із теплоакumuлюючим матеріалом фазового переходу було розроблено і виготовлено в лабораторії рухомого складу ДонІЗТ на кафедрі рухомого складу залізниць, проведено його налагодження і дослідження роботи в складі моторної установки з дизелем K461M1 [12]. Також були розроблені системи передпускового прогріву, до яких входять теплові акумулятори фазового переходу, які заряджаються від відпрацьованих газів двигуна транспортного засобу.

2.2. Характеристика транспортного засобу, що обрано для розрахунку параметрів роботи теплового акумулятора

Для прикладу розрахунку показників роботи теплового акумулятора розглянуто транспортний засіб MAN TGA 4×2 (рис. 2.5.). Це сідельний тягач з колісної формулою «4×2», який призначений для транспортування різних вантажів за місцевими, регіональними та міжнародними маршрутами по дорогах загального користування з удосконаленням покриттям в складі автопоїзда. В довжину сідельний тягач має 5875 мм, з яких 3600 мм це відстань між переднім і заднім мостами. Ширина автомобіля складає 2550

мм, висота - 3750 мм. Його мінімальний дорожній просвіт становить 240 мм, а величина колії передніх коліс 2048 мм, задніх - 1804 мм.



Рис. 2.5. Автомобіль MAN TGA

MAN TGA - сімейство великотоннажних тягачів, що випускаються компанією MAN (Німеччина) з 2000-го року. У 2001 році автомобіль MAN TGA отримав титул "Вантажівка року", вони змінили на конвеєрі модель F2000 Evolution. Автомобіль випускається або як шасі або у вигляді сидельних тягачів в залежності від мети використання. Також на базі серії TGA випускаються автомобілі спеціального призначення для перевезення небезпечних вантажів, важкої, великогабаритної, специфічної техніки та вантажів.

Особливістю серії TGA є забезпечення високого рівня комфорту для водія. Вантажівки MAN TGA як правило оснащуються дизельними 6-циліндровими або 10-циліндровими двигунами. Найбільш поширеним є 12,8-літровий силовий агрегат MAN D2876 потужністю 480 к.с. (331 кВт).

MAN TGA 4×2 - сидельний тягач з колісної конфігурацією «4×2», який призначений для доставки різного роду вантажів в пункти призначення за місцевим, регіональним і міжнародним маршрутам (по дорогах загального користування) в складі автопоїзда. Він відрізняється міцною і надійною

конструкцією, зручною і безпечною кабіною, високою продуктивністю і прийнятними витратами в обслуговуванні.

В стандартній комплектації автомобіль важить 6790 кг, допустиме пікове навантаження на сидельно-зчпний пристрій складає 11 500 кг. Повна маса сидельного тягача дорівнює 18 000 кг (з них 7500 кг доводиться на передню частину, а 10 500 кг - на задню). В складі автопоїзда його вага може доходити до 44 000 кг. На MAN TGA 18.480 4×2 (одна з найбільш популярних моделей) встановлюється рядний 6-циліндровий дизель D2876 LF12 робочим об'ємом 12,8 літрів з турбіною, проміжним охолодженням наддувочного повітря, комбінованої системою змащування, технологією акумуляторного живлення Common Rail і рідинним охолодженням, потужністю 480 кінських сил (331 кВт) при 1900 об/хв⁻¹ і 2300 Нм крутного моменту при 1000 об/хв⁻¹. Силовий агрегат працює спільно з 16-ступінчастою механічною синхронізованою коробкою передач, сухим однодисковим зчепленням. Ведучими є колеса заднього моста з можливістю блокування диференціалів. Витрата палива автомобіля складає 36 л/100 км. Основу MAN TGA 4×2 складає рамна конструкція, яка зроблена з високоміцної сталі. На рамі встановлюється кабіна з використанням пружинних амортизаторів. Сидельний тягач обладнаний гідравлічним підсилювачем рульового керування, двоконтурною гальмівною системою з дисковими механізмами на кожному з коліс, а також антиблокувальною та антибуксувальною системами.

Антибуксувальна (антипробуксовувальна) система (англ. Anti-Slip Control, ASC, нім. Antriebsschlupfregelung, англ. Automatic Slip Regulation, ASR) має ще назву система контролю тяги (англ. Traction control system, TCS; англ. Dynamic Traction Control, DTC) - електрогідравлічна система активної безпеки автомобіля, що призначена для запобігання втрати зчеплення коліс з дорогою та зниження динамічних навантажень на елементи трансмісії на неоднорідному дорожньому покритті шляхом контролю за пробуксовуванням ведучих коліс.

Дана система істотно спрощує керування автомобілем на мокрій дорозі або в інших умовах недостатнього зчеплення. За допомогою датчиків в реальному часі відстежується швидкість обертання коліс і, якщо виявляється початок пробуксовування одного з них, то система зменшує крутний момент, що подається на ведучі колеса від двигуна, або зменшує швидкість їх обертання вибіркоким підгальмовуванням.

2.2.1. Особливості конструкції та характеристики двигуна MAN D2876 сідельного тягача MAN TGA

В якості силової енергетичної установки на транспортному засобі MAN TGA двигун марки MAN D2876 рядний, шестициліндровий з газотурбінним наддувом, одноконтурною системою охолодження, працюючий на дизельному паливі. Вихідна потужність двигуна складає 345 кВт, частота обертання 1500 хв^{-1} . Діаметр циліндра 128 мм, хід поршня 166 мм, робочий об'єм 12816 см^3 , температура охолоджуючої рідини при нормальних умовах роботи становить 90°C , а при екстремальних 95°C , середній ефективний тиск становить 2,15 МПа, крутний момент 2196 Нм, середня швидкість поршня 8,3 м/с.



Рис. 2.6. Загальний вигляд двигуна MAN D2876

Силові установки MAN в якості двигунів для транспортних засобів дуже добре зарекомендовали себе в експлуатації, мають бездоганну надійність і довговічність. Саме тому, провідні виробники транспортних засобів та устаткування багатьох країн вибирають двигуни MAN як основу для своєї техніки, здатної працювати в широкому діапазоні кліматичних і експлуатаційних умов. Орієнтуючись на загальну європейську і світову тенденцію, інженери MAN активно працюють над зменшенням витрати палива двигуна і викидом шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Тому двигуни німецького виробника MAN вважаються одними з найбільш економічних і екологічних в своєму класі. До інших незаперечних переваг силових установок MAN можна віднести високий запас надійності і тривалий моторесурс.

Система охолодження двигуна MAN D2876 рідинна, примусове охолодження регулюється термостатом з водяним насосом достатньої потужності та надійності, який приводиться в дію від колінчастого валу і не вимагає технічного обслуговування в процесі всього періоду його експлуатації (рис. 2.7.).

Термостат розміщений в окремому корпусі, виконаним литтям. Циркуляція охолоджувальної рідини здійснюється по малому контуру в період прогріву. При холодному двигуні в процесі прогріву і виходу на робочу температуру термостат не відкривається (температура відкриття дорівнює 83 °C) радіатор залишається відокремленим від системи, циркуляції охолоджуючої рідини відбувається замалим колом. Завдяки цьому досягається швидкий вихід двигуна на робочу температуру охолоджувальної рідини і дозволяється його завантаження.

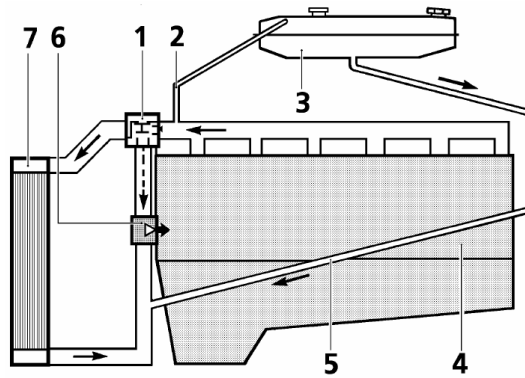


Рис. 2.7. Схема системи охолодження MAN D2876: 1 - термостат; 2 - вентиляція картера двигуна; 3 - компенсаційний бачок; 4 - двигун; 5 - трубопровід для наповнення; 6 - водяний насос; 7 - радіатор

Двигун MAN D2876 оснащений охолоджувачем надувочного повітря. Охолоджувач надувочного повітря знижує температуру повітря, що подається в двигун після того, як воно було стиснуте в турбокомпресорі. Це дозволяє досягти більшої потужності при збереженні рівня викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами і їх температури на прийнятному рівні.

2.3. Процеси теплової підготовки двигуна транспортного засобу

Сучасний двигун внутрішнього згорання транспортного засобу з системою комбінованого прогріву може бути представлений як складна технічна система [10]. Відомо, що від правильної роботи системи охолодження двигуна залежить робота багатьох інших його систем, її робота впливає на показники роботи всього двигуна внутрішнього згорання, оскільки вона здійснює визначальний вплив на протікання всіх процесів в двигуні.

Найбільш суттєво робота системи охолодження пов'язана з циліндро-поршневою групою двигуна і системою мащення. Робота системи охолодження впливає на працездатність, ресурс, потужність двигуна, екологічні та економічні показники його роботи в усьому діапазоні робочих

температур [5, 6, 10], в тому числі і на процеси пуску та прогріву двигуна після пуску.

При дослідженні теплових процесів в двигуні внутрішнього згорання, що оснащений системою підігріву перед пуском та додаткового прогріву в процесі його виходу на робочу температуру, доцільно застосовувати наступні принципи:

- комплексне дослідження системи, як єдиного цілого, з урахуванням параметрів взаємодії спільної роботи підсистем;
- декомпозиція і ієрархічність описів складових елементів системи;
- багатоетапність та ітераційність дослідження;
- типізація та уніфікація основних рішень та засобів в процесі проведення досліджень

На кожному етапі розробки системи підігріву необхідно обирати раціональне рішення для кожного її елемента (підсистеми). Визначальними параметрами при цьому повинні бути:

- ефективність роботи системи в цілому;
- вимоги і потреби споживачів;
- екологічні й економічні показники.

Під ефективністю роботи системи підігріву розуміється вплив прийнятого рішення на енергетичні, економічні та екологічні показники роботи двигуна внутрішнього згорання автомобіля в цілому, а також конструктивна складність, надійність та економічність того чи іншого прийнятого рішення.

До основних характеристик двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу відносяться енергетичні, економічні і екологічні характеристики. Це параметри двигуна при роботі на режимі холостого ходу в залежності від кута повороту колінчастого валу, а саме:

- температура у випускному колекторі;

- температура в циліндрах двигуна;
- витрати відпрацьованих газів,
- швидкість тепловиділення;
- характеристики процесу прогріву двигуна;
- тепловий баланс двигуна;
- швидкість циркуляції охолоджувальної рідини;
- характеристики перехідних процесів;
- конструктивна складність системи підігріву двигуна, яка визначає її надійність і вартість двигуна.

Ці параметри визначаються для різних конструкцій і режимів роботи системи підігріву.

Вибір основних варіантів конструкції системи підігріву двигуна внутрішнього згорання для порівняння пропонується здійснювати на основі аналізу основних схемних варіантів її реалізації для порівняння таких способів прискореного прогрівання двигуна:

- прогрівання без системи прогріву;
- прогрівання з системою прогріву при відключеній підсистемі прискореного прогріву;
- прогрівання з системою прогріву при включеній підсистемі прискореного прогріву.

Засобами реалізації системного підходу стали теоретичні методи дослідження.

Висновки до розділу 2:

1. Проведено аналіз існуючих систем підігріву двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів, на основі якого визначено функціональні групи підсистем в системі підігріву за призначенням.

2. Визначено способи регулювання температури двигуна в процесі його прогріву. Таке регулювання пропонується здійснювати одночасно зміною

температури та витрати потоку рідини в системі охолодження двигуна та зміною витрати потоку повітря, що охолоджує двигун і його елементи (радіатор, блок і головка блоку циліндрів).

3. Наведено характеристика транспортного засобу, що обрано для розрахунку параметрів роботи теплового акумулятора, особливості конструкції та характеристики двигуна MAN D2876 сідельного тягача MAN TGA.

4. Проаналізовано переваги і недоліки сучасних способів та систем передпускового прогріву двигунів «Webasto» і «Eberspächer». Запропоновано вибір основних варіантів конструкції системи підігріву двигуна внутрішнього згорання здійснювати на основі аналізу основних схемних варіантів її реалізації з обов'язковим порівнянням отриманих результатів щодо прискореного прогрівання двигуна автомобіля.

РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Тепловим акумулятором називається пристрій або сукупність пристроїв, що забезпечують взаємозворотні процеси накопичення, збереження і віддачі теплової енергії у відповідності до вимог конкретного споживача. В нашому випадку споживачем обрано дизельний двигун внутрішнього згорання D2876 LF12.

Процеси накопичення (акумуляування) теплоти відбуваються через зміну фізичних параметрів теплоакумулюючого матеріалу і за рахунок використання енергії зв'язку атомів і молекул речовин. Наприклад, використання теплоти плавлення для акумуляування теплоти забезпечує високу густину енергії, що запасається при впливі досить невеликих перепадів температур і дає можливість забезпечити досить стабільну температуру на виході з теплового акумулятора. Однак більшість матеріалів з функцією акумуляування тепла (теплоакумулюючих матеріалів) в розплавленому стані являють собою корозійно-активні речовини, в більшості випадків мають низький коефіцієнт теплопровідності, змінюють об'єм при плавленні (мають велике значення коефіцієнта лінійного розширення) і відносно велику вартість [26-28].

3.1. Будова та характеристики теплових акумуляторів фазового переходу

В даний час відома велика кількість різних речовин, що забезпечують акумуляцію температури в діапазоні 0...1400 °C. Слід зазначити, що широке застосування теплових акумуляторів з теплоакумулюючим матеріалом, що плавиться, стримується насамперед з міркуванням економічності установок, які створюються. При робочих температурах до 120 °C, які підходять для акумуляції тепла в двигунах внутрішнього згорання, рекомендується застосування кристалогідридів неорганічних солей. Це в першу чергу

пов'язано з використанням природніх речовин в якості теплоакумуючих матеріалів. Для застосування на практиці розглядаються тільки такі речовини, що не розкладаються при плавленні, або розчиняються надлишковою водою, що входить до складу теплоакумуючого матеріалу.

Для забезпечення процесу кристалізації з малим охолодженням рідини необхідне застосувати речовини, які являють собою первинні центри кристалізації.

Для блокування поділу фаз застосовуються загусники або інтенсивне механічне перемішування речовини в процесі обміну тепла. Сьогодні вже розроблено рекомендації, виконання яких забезпечує працездатність теплоакумуючих матеріалів на основі кристалогідратів протягом декількох тисяч циклів накопичення-віддачі теплової енергії. До недоліків кристалогідратів відноситься їх висока корозійна активність [6].

Практично повністю зняти питання корозійного руйнування корпусних елементів дозволяє використання органічних речовин. Вони забезпечують відносно високу густину енергії, яка зберігається, і досить високі економічні характеристики.

Розроблені сьогодні способи поверхневої обробки органічних речовин (крафт–полімеризація–модифікація тощо), дозволяють створювати конструкції без явно представленої поверхні теплообміну. Треба підкреслити, що в процесі використання органічних речовин відбувається зниження їх теплоти плавлення, що відбувається внаслідок руйнування довгих ланцюжків полімерних молекул. Внаслідок низького значення коефіцієнта теплопровідності органічних матеріалів в якості теплоакумуючого їх застосування передбачає великих значень площі поверхонь теплообміну. Для використання при більш високих робочих температурах застосовуються сплави легких металів, суттєвими недоліками яких є низький коефіцієнт теплопровідності, корозійна активність, великий коефіцієнт лінійного розширення (зміну об'єму в процесі плавлення. Основні типи теплових акумуляторів фазового переходу наведено на рис. 3.1.

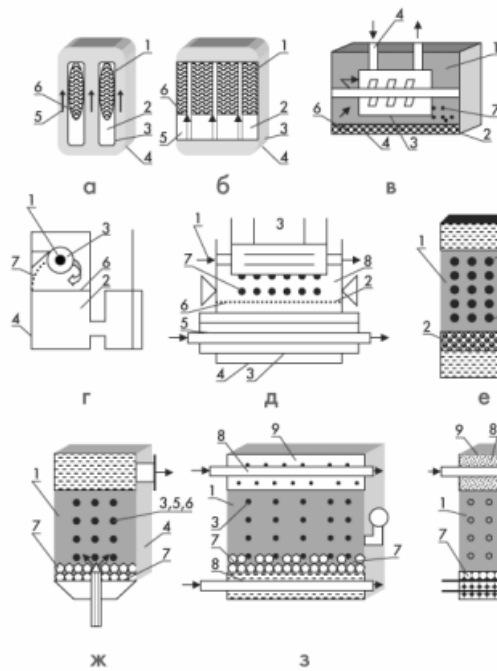


Рис. 3.1. Основні типи теплових акумуляторів фазового переходу: а – капсульний; б – кожухотрубний; в, г – з скребковим видаленням теплоакумулюючого матеріалу; д – з ультразвуковим видаленням теплоакумулюючого матеріалу; е, ж – з прямим контактом і прокачуванням теплоакумулюючого матеріалу; з, і – з випарно-конвективним переносом тепла; 1 – рідкий теплоакумулюючий матеріал; 2 – твердий теплоакумулюючий матеріал; 3 – поверхня теплообміну; 4 – корпус теплового акумулятора; 5 – теплоносій; 6 – межа розділу фаз; 7 – частинки твердого теплоакумулюючого матеріалу; 8 – проміжний теплообмінник; 9 – паровий і рідинний простір для теплоносія

Розміщення теплоакумулюючого матеріалу в капсулах рис. 3.1., а). має наступні переваги:

- забезпечує високу надійність конструкції;
- дозволяє створювати розвинену поверхню теплообміну;
- має можливість компенсувати зміни об'єму під час процесів фазових переходів.

Однак внаслідок низької теплопровідності теплоакumuлюючому матеріалу необхідна велика кількість капсул з малим розміром, що призводить до збільшення трудомісткості виготовлення теплового акумулятора. Особливо доцільне застосування капсульних теплових акумуляторів, якщо потрібний невеличкий тепловий потік з поверхні теплообміну.

Розташування теплоакumuлюючого матеріалу в міжтрубному просторі кожухотрубногo теплообмінника (рис. 3.1., б.) забезпечує раціональне використання внутрішньої порожнини теплового акумулятора. Однак, така конструкція заважає вільному розширенню теплоакumuлюючого матеріалу. Внаслідок цього знижується надійність теплового акумулятора в цілому. Забезпечення динамічних характеристик теплового акумулятора утруднено відомими характеристиками міцності, обмеженнями кроку трубок в конструкції.

Найбільш технологічно складним і, відповідно, більш дорогим елементом теплового акумулятора традиційної конструкції є теплообмінна поверхня. Внаслідок низьких коефіцієнтів теплопровідності практично всі плавких теплоакumuлюючих матеріалів сьогодні пропонуються різні способи зменшення поверхні теплообміну шляхом зіскрібання теплоакumuлюючого матеріалу (рис. 3.1., в), г.) ультразвукового або електрогідравлічного руйнування затверділого теплоакumuлюючого матеріалу (рис. 3.1., д.) Дані способи дозволяють суттєво знизити площу поверхні теплообміну, але значно збільшують навантаження на конструктивні елементи акумулятора. Відомо, що найкращим варіантом теплообміну є безпосередній контакт теплоакumuлюючого матеріалу з теплоносієм. Очевидно, що в такому випадку необхідно підбирати теплоакumuлюючий матеріал та теплоносій між собою для забезпечення працездатності теплового акумулятора. Теплоакumuлюючий матеріал в такому випадку повинен відповідати вимогам:

- кристалізуватися окремими кристалами;

- мати велику різницю щільності твердої та рідкої фаз;
- бути хімічно стабільним;
- не утворювати емульсій з теплоносієм.

Теплоносії підбираються за наступними ознаками:

- хімічна стабільність в суміші з теплоакумуючим матеріалом;
- велика різниця густини у порівнянні з теплоакумуючим матеріалом;
- мала здатність до вспінювання;
- ряд специфічних вимог, що пов'язано з особливістю конструкції теплового акумулятора.

Для проведення розрахунків з метою оцінки властивостей теплового акумулятора фазового переходу для двигуна MAN D2876 в якості теплоакумуючого матеріалу теплового акумулятора було обрано поліетилен високої густини. В системі підігріву передбачається утилізація теплової енергії відпрацьованих газів дизельного двигуна транспортного засобу.

Таке рішення пропонується з наступних міркувань:

- прагнення одержати великий енергетичний потенціал теплоакумуючих засобів стикається з проблемою, яка пов'язана збільшенням їх масовогабаритних показників, особливо для використання в умовах низьких температур. Спроби зменшити масогабаритні показники теплових акумуляторів без прийняття додаткових конструктивних рішень не мають перспективи;
- в залежності від способу одержання поліетилен буває: високого тиску низької щільності і низького тиску високої щільності. Позитивною властивістю цього матеріалу є те, що він не розчиняється в органічних розчинниках (за нормальних температурних умов) й незначно збільшує свій об'єм під їх дією.

- поліетилен стійкий при нагріванні у вакуумі й атмосфері інертного газу і практично нешкідливий. Він не виділяє небезпечні в навколишнього середовища речовин. Під дією сонячних променів, особливо ультрафіолетових, схильний до старіння.

Таким чином обраний тепловий акумулятор із теплоакумулюючим матеріалом фазового переходу. Корпус акумулятора пропонується виконати з нержавіючої сталі з однією основною секцією теплообмінника, що виготовлено із латуні. В корпусі ТА є два патрубки, поєднані з компенсаторами теплового розширення ТАМ і входом термодіагностики. З метою зниження втрат теплової енергії в процесі випробувань зовнішня поверхня ТА була теплоізована подвійним шаром спіненого поліетилену, покритим із двох боків шарами алюмінієвої фольги (рис. 3.2.).

Основні характеристики теплового акумулятора фазового переходу наведені в таблиці 3.1.

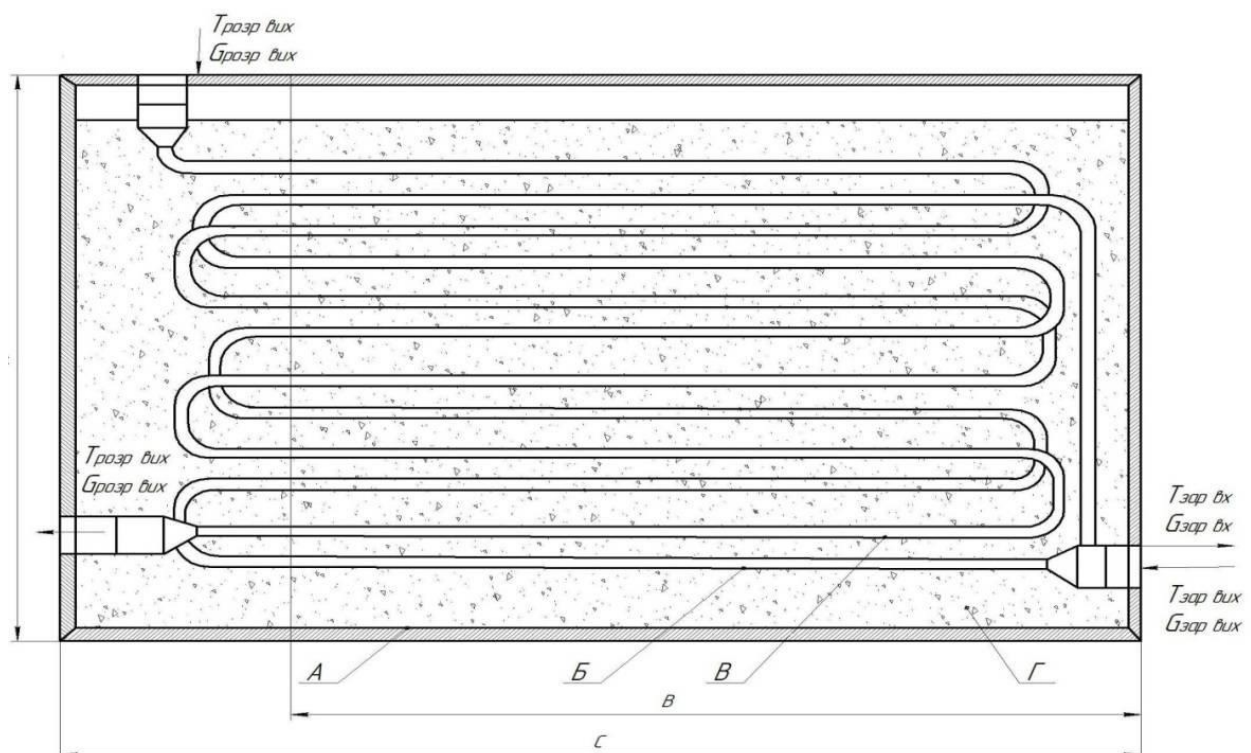


Рис. 3.2. Схема теплового акумулятора: А - зовнішня стінка; Б - теплообмінник заряджання; В - теплообмінник розряджання; Г - теплоакумулюючий матеріал з властивостями фазового переходу

Таблиця 3.1

Технічна характеристика теплового акумулятора фазового переходу і
теплоакумуючих матеріалів

Найменування	Характеристика
Теплоакумуючий матеріал з властивостями	Поліетилен високої густини
Температура фазового переходу, °K	407
Густина, кг/м^3 , $\rho_{\text{тверд}} / \rho_{\text{розплав}}$	925/800
Питома тепла енергія фазового переходу, кДж/кг	230
Питома теплоємність, кДж/(кг·K), $C_{\text{тверд}} / C_{\text{розплав}}$	2,5/3,3
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K), $\lambda_{\text{тверд}} / \lambda_{\text{розплав}}$	0,26/0,04
Маса теплоакумуючого матеріалу, кг	20
Маса теплового акумулятора з теплоакумуючим матеріалом, кг	39
Теплоізолюючий матеріал	Подвійний спінений поліетилен, покритий двома шарами алюмініюваної фольги
Матеріал корпусу теплового акумулятора	Нержавіюча сталь
Матеріал теплообмінника теплового акумулятора	Латунь або мідь
Теплова ємність теплового акумулятора, кДж/K	47,25

3.1. Прогрів двигуна автомобіля за допомогою теплового акумулятора фазового переходу

При експлуатації автомобільних двигунів внутрішнього згорання в умовах низьких температур, постійних зупинок і пусків на різних навантажувальних режимах виникає проблема їх стійкого, надійного і

безпечного, а також підготовки до сприйняття навантажень на штатних режимах роботи, тобто прогріванні їх до необхідної відповідної температури охолоджувальної рідини.

Тому виробники сучасних двигунів автомобілів рекомендують комплектувати їх агрегатами, що забезпечують теплову підготовку двигунів. Для проведення теплової підготовки двигуна запропонована система утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором фазового переходу.

Система прогріву двигуна з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів тепловим акумулятором фазового переходу (рис. 3.3.) входить складовою частиною, до системи охолодження двигуна та виконує забезпечує швидкий прогрів двигуна до робочої температури та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна.

Принцип роботи системи, що пропонується, полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів, яка утворюється при згоранні палива та не використовується в якості корисної, а відводиться в атмосферу з відпрацьованими газами.

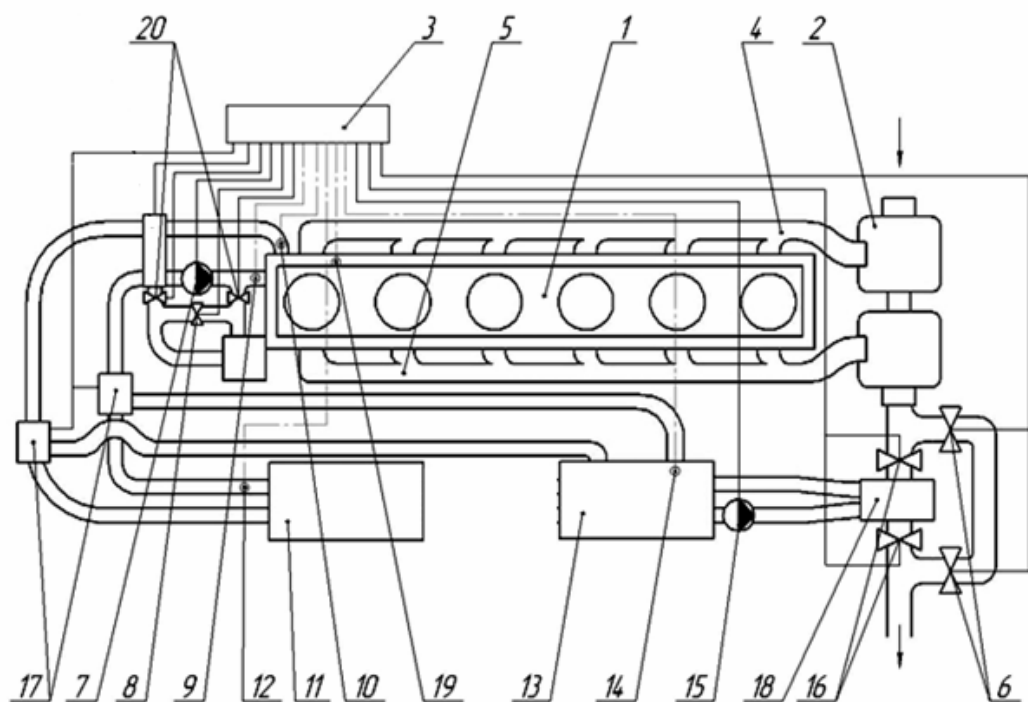


Рис. 3.3. Схема встановлення теплового акумулятора фазового переходу та пристрою для утилізації теплової енергії відпрацьованих газів на двигуні

автомобіля: 1 - двигун; 2 - турбокомпресор; 3 - блок керування системи регулювання температури охолоджувальної рідини двигуна; 4 - впускний колектор; 5 - випускний колектор; 6 - клапани байпасу; 7 - електричний насос системи охолодження; 8 - електромагнітний клапан байпасу штатного насосу системи охолодження; 9 - датчик температури охолоджувальної рідини на вході в двигун, 10 - датчик температури охолоджувальної рідини на виході з двигуна; 11 - радіатор системи охолодження; 12 - датчик температури охолоджувальної рідини на виході з радіатора; 13 - тепловий акумулятор фазового переходу; 14 - датчик температури охолоджувальної рідини на виході з теплового акумулятора; 15 - насос теплового акумулятора; 16 - клапани теплообмінника теплового акумулятора; 17 - двохпозиційні клапани; 18 - теплообмінник теплового акумулятора фазового переходу; 19 - датчик температури охолоджувальної рідини двигуна; 20 - електромагнітний клапан включення штатного насосу системи охолодження.

3.2. Система прогріву двигуна автомобіля з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів

Система прогріву двигуна пропонується оснастити підсистемою утилізації енергії тепла відпрацьованих газів - тепловим акумулятором фазового переходу. Вона входить як складова частина, до системи охолодження двигуна та допомагає забезпечити швидкий прогрів двигуна до робочої температури відпрацьованих газів та підтримує її у межах, обумовлених робочим процесом та конструкцією двигуна. Принцип роботи такої системи полягає в накопиченні теплової енергії відпрацьованих газів, яка утворюється при згоранні палива та не використовується на корисну роботу, а відводиться в атмосферу з відпрацьованими газами.

Накопичення теплової енергії в тепловому акумуляторі стає можливим через встановлення в випускному трубопроводі двигуна теплообмінника, який пов'язаний з тепловим акумулятором трубопроводом. Через трубопровід за допомогою насосу зі своєю окремою системою керування

відбувається циркуляція теплоносія створеної системи утилізації теплової енергії. Теплоносій, проходячи через теплообмінник в випускному трубопроводі, розігрівається від теплової енергії відпрацьованих газів до температур 150...200 °C.

Теплообмінник пропонується встановлювати в байпасі випускного трубопроводу, паралельно основному трубопроводу. Таке рішення дає можливість відключення його після того, як тепловий акумулятор буде максимально заряджений. Переключення потоку пропонується здійснювати за допомогою клапанів з електричним приводом за допомогою команд системи керування.

Теплоносій з утилізатору теплової енергії відпрацьованих газів потрапляє в тепловий акумулятор, який являє собою теплоізований резервуар з двома теплообмінниками (для заряджання та розряджання), заповнений теплоакумуючим матеріалом з властивостями фазового переходу. Теплоносій циркулює через теплообмінник заряджання теплового акумулятора. При проходженні від теплообмінника через тепловий акумулятор теплоносій охолоджується та віддає накопичену теплову енергію теплоакумуючому матеріалу. В процесі накопичення теплової енергії теплоакумуючим матеріалом найбільшу ефективність являє собою процес фазового переходу речовини-наповнювача теплового акумулятора (тобто зміна його агрегатного стану), на яку потрібна велика кількість теплової енергії. До значень температури фазового переходу в теплоакумуючій речовині, та подальше нагрівання теплоакумуючого матеріалу після досягнення значень температури фазового переходу не є таким енергоємним, як безпосередньо процес фазового переходу.

Перевагою використання накопиченої енергії процесу фазового переходу при незначній кількості теплоакумуючого матеріалу є можливість накопичення теплової енергії меншою кількістю матеріалу. Якщо використовувати речовину без властивостей фазового переходу, то для накопичення такої же теплової енергії було б можливо масою у декілька

разів більшою, ніж при використанні теплоакumuлюючого матеріалу фазового переходу. З точки зору конструкції теплового акумулятора та фізики процесів зміни агрегатного стану теплоакumuлюючої речовини, більш зручним у використанні можна вважати перехід «твердий стан— рідина— твердий стан» ніж «рідина—газ—рідина».

В якості теплоакumuлюючого матеріалу представляється найбільш доцільним використання речовини з температурою фазового переходу в інтервалі можливих коливань температури теплоносія, що заряджає тепловий акумулятор.

Можливість тривалого збереження накопиченої теплової енергії в тепловому акумуляторі може бути реалізованою завдяки використанню ефективної теплоізоляції.

При необхідності запуску двигуна після тривалої зупинки в дію включається система прогріву двигуна. Для цього вона приводиться в дію перед запуском двигуна. Система при цьому включає електричний циркуляційний насос, який здійснює циркуляцію охолоджувальної рідини через двигун та тепловий акумулятор. Охолоджувальна рідина, проходячи через тепловий акумулятор, отримує накопичену теплоакumuлюючим матеріалом теплову енергію і передає її елементам конструкції двигуна, в тому числі стінкам та головці циліндрів.

Правильний вибір теплової потужності теплового акумулятора дозволяє виконати швидкий попередній підігрів двигуна від температури повітря середовища (мінімальна температура $-20...+5$ °C) до температури $+50$ °C охолоджувальної рідини. Вибір теплової потужності робиться на основі розрахунків теплового балансу системи підігріву двигуна, який відображає необхідну кількість теплової енергії для прогріву охолоджувальної рідини, блока циліндрів, головки блока циліндрів, з'єднуючих патрубків та трубопроводів та теплових втрат.

Отримавши теплову енергію від охолоджувальної рідини, елементи двигуна передають її маслу системи змащування та камерам згорання, що

позитивно впливає на процес пуску двигуна, який відбувається після того, як датчики системи пуску двигуна зафіксують температуру охолоджувальної рідини в межах $+40...50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після запуску двигуна система пуску продовжує свою роботу та сприяє більш ефективному та швидкому прогріву працюючого двигуна до оптимальної температури охолоджуючої рідини $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Це досягається завдяки подальшому використанню накопиченої теплової енергії в тепловому акумуляторі. В подальшому відбувається штатна робота двигуна з обміном тепловою енергією між двигуном та тепловим акумулятором, тобто після досягнення температури охолоджувальної рідини $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ система комбінованого прогріву переходить в режим підтримання температури в заданих межах ($85\pm5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Враховуючи дані, отримані від датчиків температур, система керування прогріву розраховує оптимальну частоту обертання валу циркуляційного насоса та створює керуючі команди на клапани системи. При цьому потоки рідини спрямовуються через ті чи інші елементи системи прогріву для підтримки заданої температури охолоджувальної рідини двигуна.

Функціонування розробленої системи прогріву побудовано на аналізі температурних значень теплоносіїв системи охолодження двигуна. Контрольні датчики температури охолоджувальної рідини під'єднуються до блоку циліндрів двигуна в контури системи охолодження, і/або закріплюються на трубопроводах (патрубках), оскільки для виміру температур в необхідних точках системи не завжди є необхідним безпосередній контакт з охолоджувальною рідиною системи охолодження двигуна.

Висновки до розділу 3:

1. Розглянуто процес прогріву двигуна внутрішнього згорання автомобіля з використанням теплового акумулятора фазового переходу.

2. Запропоновано система прогріву двигуна автомобіля з підсистемою утилізації теплової енергії відпрацьованих газів, яка дозволяє провести попередній розігрів двигуна перед пуском і тим самим полегшити процес пуску, зменшити час виходу двигуна на робочу температуру охолоджувальної рідини, зменшити зношування спряжених деталей двигуна, збільшити ресурс двигуна, зменшити витрату палива в процесі пуску і виходу на робочі температури та зменшити викиди токсичний речовин з відпрацьованими газами.

РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ПРОГРІВУ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ

Вивчення зміни витрати палива двигуна автомобіля в процесі використання системи прогріву, що пропонується, проводилось математичним моделюванням за допомогою програми Дизель-РК. Розрахунки проводились за умов встановлення запропонованої системи теплової підготовки на дизельний двигун MAN D 2876 автомобіля. На початку в програмі було задано конструктивні і технологічні параметри двигуна MAN D2876. В розрахунках за допомогою математичної моделі розглядалися процеси передпускового підігріву двигуна MAN D2876 при різних фіксованих температурах навколишнього середовища: $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Результатами проведеного дослідження є також те, що при збільшенні швидкості циркуляції потоку охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна з $0,08\text{ м/с}$ (що відповідає швидкості циркуляції охолоджувальної рідини при прогріві двигуна на холостих обертах колінчастого валу зі штатним насосом системи охолодження) до $0,22\text{ м/с}$ (що відповідає характеристикам циркуляційного насоса запропонованої системи підігріву двигуна).

В результаті проведених розрахунків отримано зменшення часу прогріву τ в середньому на 14 %, витрати палива G_t на 25 %, а в деяких випадках зменшення витрати палива при прогріві двигуна з задіяною системою підігріву складало 64-65 % (табл. 4.1).

В той же час розрахунки показують, що прогрів двигуна без задіяної розробленої системи підігріву (класичним методом) буде тривати 1342 с, 1830 с та 2740 с відповідно.

В результаті отримано час теплової підготовки двигуна з системою підігріву двигун виходить на температуру охолоджувальної рідини $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, відповідно за 1344 с, 1433 с та 1541 с, що менше на 486 с (27

%), 396 с (21%) та 288 с. (16%) у порівнянні з прогрівом зі штатною системою охолодження двигуна до температури 50 °С, яка становить 1830 с.

При цьому двигун витрачає менше палива відповідно на 0,378 кг, 0,323 кг та 0,249 кг, відповідно, що менше на 0,605 кг (62%), 0,660 кг (67%) та 0,734 кг (75%) у порівнянні з прогрівом зі штатною системою охолодження двигуна до температури 50 °С, яка становить 0,983 кг.

Таблиця 4.1

Розрахунки показників роботи системи підігріву двигуна внутрішнього згорання MAN D 2876

Параметр	Температура навколишнього середовища		
	+20 °С	0 °С	-20 °С
Час прогріву двигуна в інтервалі від температури навколишнього середовища до температури «гарячого пуску» двигуна			
До +40°С з штатним насосом СОД двигуна (штатна система), с	1342	1830	2740
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +40 °С, с	833	1344	1816
економія часу у порівнянні з штатною системою, с	509 (38%)	486 (27%)	923 (34%)
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +50 °С, с	862	1433	1956
економія часу у порівнянні з штатною системою, с	479 (36%)	396 (21%)	783 (29%)
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +60 °С, с	890	1541	2124
економія часу у порівнянні з штатною системою, с	451 (34%)	288 (16%)	615 (22%)
Витрата палива в інтервалі: при прогріві ДВЗ від температури навколишнього середовища до температури «гарячого пуску» двигуна			

До +40 °С зі штатним насосом системи охолодження двигуна (штатна система), кг	0,785	0,983	1,313
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +40 °С, кг	0,392	0,378	0,621
економія часу у порівнянні з штатною системою, кг	0,393 (50%)	0,605 (62%)	0,692 (52%)
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +50 °С, кг	0,374	0,323	0,549
економія часу у порівнянні з штатною системою , кг	0,410 (52%)	0,660 (67%)	0,764 (58%)
Попередній прогрів від теплового акумулятора до +60 °С, кг	0,356	0,249	0,455
економія часу у порівнянні з штатною системою , кг	0,428 (55%)	0,734 (75%)	0,858 (65%)

Результати розрахунків можливо пояснити тим, що в процесі прогріву досліджуваний двигун автомобіля з запропонованою системою підігріву спочатку підігрівається від накопиченої в тепловому акумуляторі теплової енергії, а після пуску двигуна відразу відбувається додаткове прогрівання за допомогою запропонованої системи.

Таким чином розроблена система дозволяє проводити передпускове підігрівання двигуна та додаткове його підігрівання в процесі його прогріву після пуску. Тобто дана система є системою передпускової теплової підготовки двигуна і системою прискореного його прогріву за допомогою теплової енергії, що запасється в тепловому акумуляторі.

При чому передпусковий прогрів може бути здійснений за досягнення різних температур охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна, тобто до $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, після досягнення яких двигун запускається і запропонована система починає працювати в режимі прискорено прогріву.

На відміну від пуску і прогріву двигуна з системою, що пропонується, в процесі штатного прогріву на режимі холостого ходу двигун від моменту пуску до досягнення температури пуску з використанням системи, наприклад до виходу на температурау 50°C , все одне витрачає паливо, скомпенувати витрату енергії якого частково можна збереженої енергією в тепловому акумуляторі від теплавідпрацьованих газів за попередньої роботи двигуна.

При цьому в процесі штатного прогріву (без використання системи з тепловим акумулятором) мають місце усі раніше наведені недоліки холодного пуску і прогріву на обертах холостого ходу двигуна без попередньої теплової підготовки.

На рис. 4.1 показана порівняльна діаграма значень часу прогріву двигуна MAN D 2876 з різними комплектаціями системи охолодження двигуна (без системи підігріву та з системою підігріву), а саме: ШС – штатна система (без системи підігріву (при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна $0,08 \text{ м/с}$)); 40°C , 50°C та 60°C – температура, до якої проводився попередній підігрів перед пуском (з системою підігріву при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна $0,22 \text{ м/с}$).

Зменшення часу на прогрів при використанні запропонованої системи підігріву для забезпечення теплової підготовки двигуна транспортного засобу в залежності від початкової температури має наявний позитивний характер.

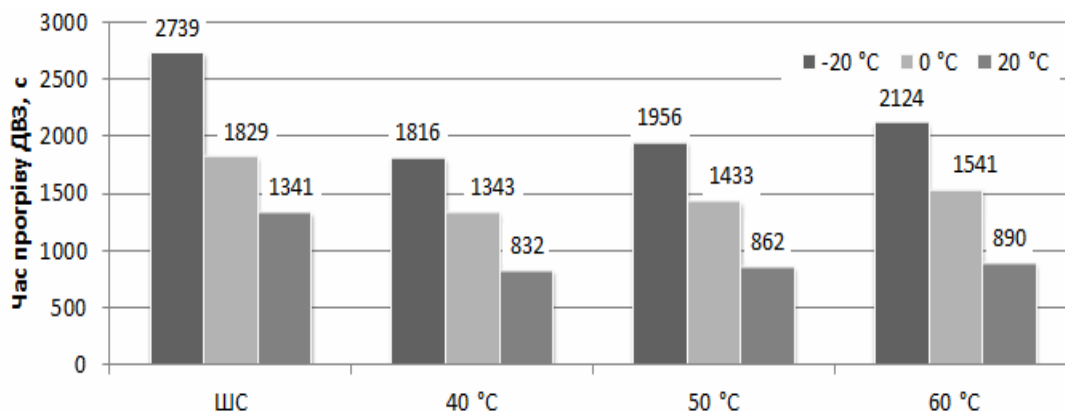


Рис. 4.1. Значення часу прогріву двигуна ТЗ MAN D 2876 з різними комплектаціями системи охолодження (без системи теплової підготовки і з системою підігріву): ШС – штатна система (без системи підігріву (при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини 0,08 м/с)); 40 °C, 50 °C та 60 °C – температура, до якої проводився попередній підігрів двигуна перед пуском (з системою підігріву при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини 0,22 м/с)

На рис. 4.2 наведено діаграму значень сумарної витрати палива при прогріві двигуна MAN D 2876 з різними комплектаціями системи охолодження двигуна (без системи підігріву та з системою підігріву), а саме: ШС – штатна система (без системи підігріву (при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини 0,08 м/с)); 40 °C, 50 °C та 60 °C – температура, до якої проводився попередній підігрів двигуна перед пуском (з системою підігріву при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини 0,22 м/с). За результатами, які наведено в діаграмі, можна зробити висновок, що при прогріві двигуна з використанням системи підігріву, що запропоновано, зменшується сумарна витрата палива двигуна у порівнянні з використанням лише його штатної системою охолодження.

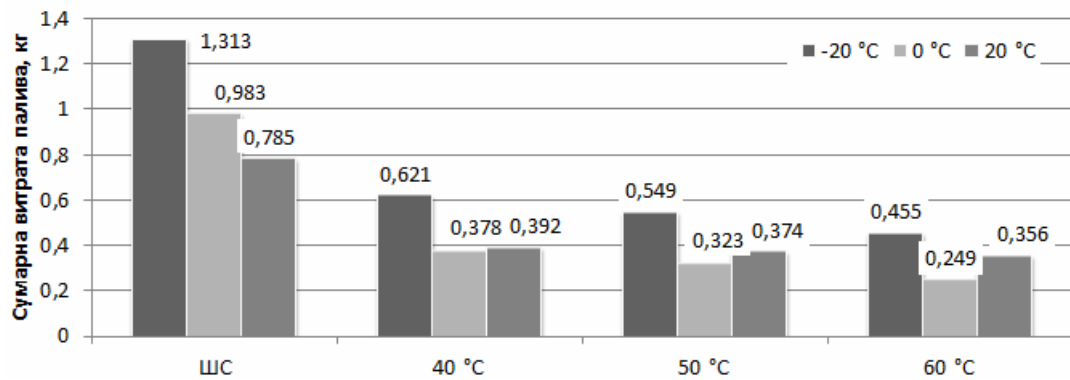


Рис. 4.2. Діаграма значень годинної витрати палива при прогріві двигуна MAN D 2876 з різними комплектаціями системи охолодження (без системи підігріву та з системою підігріву) за однаковий проміжок часу: ШС – штатна система (без системи підігріву (при швидкості циркуляції охолоджувальної рідини 0,08 м/с)); 40 °C, 50 °C та 60 °C – температура, до якої проводився попередній підігрів перед пуском (з системою підігріву (при швидкості циркуляції ОР 0,22 м/с))

Таким чином, порівнюючи час прогріву τ , годинні витрати G_t дизельного палива, під час виконання передпускового підігріву двигуна MAN D 2876 до температури «гарячого пуску» видно, що запропонована система прогріву двигуна дозволяє суттєво зменшити експлуатаційний час прогріву вказаного двигуна (до 16-27 %), витрату палива в процесі виходу на експлуатаційний температурний режим (в де-яких випадках до 62-75 %).

Застосування теплового акумулятора фазового переходу дозволяє зменшити час прогріву двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу, зменшити процеси зношування деталей двигуна у порівнянні з «холодним» пуском, витрату палива в процесі прогріву та викиди шкудливих речовин з відпрацьованими газами двигуна.

Висновки до розділу 4:

1. Проведено математичне моделювання роботи системи передпускового підігріву двигуна за допомогою програми Дизель-РК. Розрахунки проводились за умов встановлення запропонованої системи теплової

підготовки на дизельний двигун MAN D 2876 автомобіля. В розрахунках за допомогою математичної моделі розглядалися процеси передпускового підігріву двигуна MAN D2876 при різних фіксованих температурах навколишнього середовища: $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Отримано дані про зменшення часу прогріву за заданих температурних умов в середньому на 14 %. Також витрата палива на прогрів двигуна з задіяною системою підігріву, що пропонується, і виходу його на робочу температуру рідини системи охолодження в деяких випадках зменшується на 64-65 %.

ВИСНОВКИ

1. В умовах експлуатації двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів, особливо при низьких температурах повітря навколишнього середовища, значне місце займає прогрів двигуна. Одним із способів покращення показників теплового стану, зниження шкідливих викидів, підвищення паливної економічності при прогріві двигуна є застосування систем підігріву.

2. Запропоновано систему підігріву двигуна MAN D 2876, який встановлюється на сідельний тягач MAN TGA, з використанням теплоакumuлюючих матеріалів фазового переходу, визначено її складові та принципи регулювання з урахуванням зміни температурних умов експлуатації транспортного засобу при виконанні передпускового підігріву і післяпускової теплової дії запропонованої системи для виведення двигуна на робочі температури.

3. Проведено математичне моделювання роботи системи передпускового підігріву двигуна. Розрахунки проводились за умов встановлення запропонованої системи теплової підготовки на дизельний двигун MAN D 2876 автомобіля. В розрахунках за допомогою математичної моделі розглядалися процеси передпускового підігріву двигуна MAN D2876 при різних фіксованих температурах навколишнього середовища: $+20^{\circ}\text{C}$, 0°C та -20°C .

4. Дослідження на математичній моделі системи підігріву з використанням теплоакumuлюючих матеріалів фазового переходу двигуна MAN D 2876 показало, що зі збільшенням швидкості циркуляції охолоджувальної рідини до $0,22\text{ м/с}$ можливо скоротити час його прогріву до 6 хвилин, при тому, що при використанні штатної системи охолодження і прогріві в режимі холостого ходу цей час буде становити близько 11 хвилин. Ефективність застосування розробленої системи підігріву двигуна підкреслюється тим, що дозволяє суттєво зменшити показники часу прогріву двигуна MAN D 2876 і виходу його на робочу температуру (до 16-27%) та покращити показники паливної економічності (до 62-75%) в процесі його теплової підготовки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варшамов А.В. Выбор перспективных схем теплоаккумулирующих систем предпускового прогрева двигателей внутреннего сгорания / А.В. Варшамов, В.В. Голеншин, М.Ю.Харитонов // Наукові праці. Техногенна безпека. Радіобіологія, Випуск 268. Том 280, Миколаївський університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв, 2016 р. - С. 21-27.
2. Харитонов Ю.Н. Судовые теплоаккумулирующие комплексы [Электрон. ресурс] / Ю.Н. Харитонов, В.В. Голеншин, А.В. Варшамов // (Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні. VII міжнародна науково-технічна конференція 2012.) – Режим доступу: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/files/lectures/14962.pdf> - 24.12.2015г.
3. Голеншин В. В. Экспериментальные исследования температурного состояния оборудования и корпусных конструкций в машинном отделении [Текст] / В. В. Голеншин, В. И. Шалухин, А. В. Варшамов – Вісник Інженерної академії України. – К. : КНАУ–2011. – № 2. – С. 159–162.
4. Influence of Ambient Temperature [Электрон. ресурс]/– Режим доступу: <http://man-ag.com.ua/man-tgx/> - 24.01.2019г.
5. Шульгин В.В. Тепловые аккумуляторы транспортных средств / В.В. Шульгин. // - СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2005. - 268 с.
6. Волков В.П. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування / В.П. Волков, І.В. Грицук, Ю.Ф. Гутаревич, В.Д. Александров - Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2015.- 314 с.
7. Александров В.Д. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів: параметри робочих процесів – монографія / В.Д. Александров, Ю.Ф. Гутаревич, І.В. Грицук і др. - Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2014.- 230 с.
8. Адров Д.С. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д.С. Адров, І.В.

Грицук, Ю.В. Прилепський, В.І. Дорошко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. №27, ДонІЗТ, Донецьк, 2011. - с. 117 – 125.

9. Поликер Б.Е. Дизельные двигатели для электроагрегатов и электростанций / Б.Е. Поликер, Л.Л. Михальский, В.А. Марков, В.К. Васильев, Буханец Д.И. / – М.: Легион-Автодата, 2006. – 328с.

10. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин – СПб.: Наука, 2002. – 145 с.

11. Найман В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В.С. Найман. // – АСТ.: Астрель, 2007. – 213с.

12. Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля с учетом полного жизненного цикла/ В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф. Кутенев // Автомобильная промышленность. – 2000. - №11. – С. 7-12.

13. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей/ Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - М, 1983, 375 с.

14. Носырев Д.Я. Повышение ресурса тепловозных дизелей за счет применения нетрадиционных технических средств / Д.Я. Носырев, Н.В. Чертырховцева // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск «Проблемы железнодорожного транспорта на современном этапе развития». - Самара: Издательство СНЦРАН, 2007. - С. 145-149.

15. Жмудяк Л.М. Перспективные схемы утилизации тепла отработавших газов поршневых ДВС / Л.М. Жмудяк Л.М. // Динамика и тепловая нагруженность и надежность сельскохозяйственных агрегатов: Материалы второго заседания республиканского семинара. - Барнаул: АПИ, 1981. - С. 100-109.

16. Кукис В.С. Возможность снижения токсичности двигателей внутреннего сгорания при утилизации теплоты их отработавших газов. / В.С. Кукис, М.Л. Хасанова, Н.А. Пятковская // Праці Таврійська державна агротехнічна академія -Вип. 2.-Т. 17.-Мелітополь: ТДАТ, 2001. - С. 151-155.

17. Кукис В.С. Двигатель Стирлинга как утилизатор теплоты отработавших газов / В.С. Кукис // Автомобильная промышленность. - 1988. - № 9. - с. 19-20.
18. Левенберг В.Д. Аккумулирование тепла / В.Д. Левенберг //- Киев: Техника, 1991. - 112с.
19. Кукис В.С. Двигатель для утилизации теплоты отработавших газов / В.С. Кукис, А.Б. Смолин, А.И. Богданов // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. - Т. 1. - Москва, 2000. - с. 56-57.
20. Двигатели MAN: Технические решения [электронный ресурс] Режим доступа: <https://docplayer.ru/35736120-Dvigateli-man-tehnicheskieresheniya.html>.
21. Баскалов А.Я. Методология научного исследования / А.Я. Баскалов, Н.В. Туленков.// - К.: МАУП, 2004 – 216 с.
22. Программа Дизель РК [электронный ресурс] Режим доступа: www.diesel-rk.bmstu.ru
23. Кулешов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешов, Л. В. Грехов. // – М.: МГТУ, 2000. - 64 с. ISBN 5 7038-1452-9
24. Грицук І.В. Математична модель розрахунку показників двигуна внутрішнього згорання з системою комбінованого прогріву при здійсненні пуску і прогріву / І.В. Грицук, Д.С. Адров // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» - Луцьк: ЛНТУ, 2012. –Випуск №36, с. 68-72.
25. Грицук ІВ. Особливості розробки циклу теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, М.В. Володарець, З.І. Краснокутська, Д.С. Погорлецький, С.І. Бородин // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 25 – 27с

26. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев // Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2005. - 550 с., ил.
27. Гаврилов В.С., Камкин С.В., Шмелев В.П. Техническая эксплуатация дизельных установок. Учебное пособие для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
28. Грицук І.В. Особливості математичного моделювання теплової підготовки транспортного двигуна за допомогою теплового акумулятора і методики її використання / І.В. Грицук, В.С. Вербовський, Д.С. Погорлецький, В.В. Марченко, Р.І. Михайлов // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології», 20-21 листопада 2017 р ХНАДУ, Харків, 2017, С. 28 – 29.
30. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., "Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator," SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, doi:10.4271/2016-01-0204.
31. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки / М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Грищук, М. П. Цюман // К.: НТУ, 2014. – 168 с.
32. Патент на винахід № 106525 Україна, МПК F01P 3/22 (2013.01), B60H 1/04 (2013.01), «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська, С.А. Єрощенко, В.С. Вербовський, Д.С. Адров, Л.О. Македонська, А.П. Комов, Є.О. Комов / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т, Харківський національний транспортний університет, Українська державна академія залізничного транспорту, Донецький інститут залізничного транспорту., Державний № ua 106525; заяв. 16.10.2012 заявка: а2012 11919, опубл. 10.09.2014, Бюл. №17.-17с.:іл.

33. Патент на винахід № 103729 Україна, МПК (2013.01) F01P 3/22, B60H 1/04, B60K 11/00, «Система забезпечення оптимальних температур охолоджуючої рідини в двигуні внутрішнього згорання» / Ю.Ф. Гутаревич, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, В.П. Волков, А.О. Каграманян, П.Б. Комов, О.Б. Комов, В.Й. Поддубняк, М.І. Сергієнко, З.І. Краснокутська / (Україна); Заявник і патентовласник Національний транспортний ун-т., Державний № ua 103729; заяв. 30.10.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.- 17с.:іл.
34. Грицук, І. В. Формування і дослідження комплексної системи комбінованого прогріву двигуна і транспортного засобу / І.В. Грицук // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т . - Харьков : ХНАДУ, 2015. – Вып. 70. – С. 23–32.
35. <https://budtehnika.pp.ua/5641-roboch-cikli-chotiritaktnih-dvigunv-pokazniki-yih-roboti.html>