

Міністерство інфраструктури України
Українська державна академія залізничного транспорту

БОНДАР ОЛЕНА АНАТОЛІЇВНА



УДК 621.436:533.697.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕОСТАТНИХ ВИПРОБУВАНЬ
ТЕПЛОВОЗІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ
РЕЧОВИН В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту
Міністерства інфраструктури України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Паламарчук Микола Володимирович
Донецькій інститут залізничного транспорту,
завідувач кафедри рухомого складу залізниць

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Калабухін Юрій Євгенович
Українська державна академія залізничного
транспорту,
декан факультету економіки транспорту

кандидат технічних наук, доцент
Полив'янчук Андрій Павлович
Східноукраїнський національний університет
імені В. Даля,
доцент кафедри екології

Захист відбудеться «26» січня 2012 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д64.820.04 при Українській державній академії залізничного
транспорту за адресою: 61050, м. Харків,
майдан Фейєбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної
академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків,
майдан Фейєбаха, 7

Автореферат розісланий «22» грудня 2011 г.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Випробування тепловоза є завершальним етапом технологічного процесу його ремонту. Випробування і регулювання окремих систем двигуна проводять на пунктах реостатних випробувань. У цьому випадку локомотив є точковим джерелом викиду шкідливих речовин, у тому числі: оксиду вуглецю CO, оксидів азоту NO і NO₂, вуглеводнів типу C_mH_n, сажі та багато інших.

Концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах тепловозів у сотні разів перевищують допустимі межі. Особливої актуальності це питання набуває при проведенні реостатних випробувань тепловозів. Згідно з їх технологією проведення визначення концентрації забруднюючих речовин здійснюються відповідно з ДСТУ 32.001-94, ВНД 32.0.06.001-99. В той же час в депо недостатньо приділяється уваги новим заходам для зниження концентрації шкідливих речовин, які забруднюють повітря.

“Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки” також потребує необхідність підвищення ефективності експлуатації рухомого складу, тому при розробці нових технологій реостатних випробувань зниження витрат та підвищення еколого-економічної ефективності обумовлює пошук нових технічних рішень. Тому проблема удосконалення технології реостатних випробувань для зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери є сучасною та актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконана згідно з вимогами “Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки”, (Ухвала Кабінету міністрів України № 651 від 27.12.2006), «Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 17 жовтня 2007р. № 880-р), «Державної цільової екологічної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища» (Постанова Кабінету міністрів України від 5 грудня 2007р. №1376).

У дисертації відображені результати досліджень, які були проведенні у ході виконання держбюджетної теми “Розробка методики розрахунку раціональних параметрів ежекторного пристрою для зниження концентрацій забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери при реостатних випробуваннях тепловозів” (номер державної реєстрації 0110U006255), відповідальним виконавцем якої був автор роботи.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в удосконаленні технології реостатних випробувань тепловозів на основі поєднання періодичних реостатних та екологічних випробувань і подальшого розвитку заходів для зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасних технологій реостатних випробувань тепловозів;
- визначити розрахункові концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери на пунктах реостатних випробувань тепловозів за даними екологічних паспортів тепловозів;
- розробити методика поєднаних періодичних реостатних та екологічних випробувань;
- провести дослідження руху рідини в ежекторному пристрої;
- виконати спільне вирішення рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою та рівняння розсіювання викидів забруднюючих речовин;
- розробити експериментальний зразок ежекторного пристрою для розсіювання шкідливих речовин у навколишній атмосфері;
- розробити алгоритм розрахунку геометричних параметрів ежекторного пристрою, що забезпечує зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери до допустимих меж;
- розробити рекомендації з впровадження запропонованих технічних рішень.

Об'єкт дослідження – процес проведення реостатних випробувань тепловозів.

Предмет дослідження – поліпшення еколого-економічних показників реостатних випробувань тепловозів.

Методи дослідження. Виконані в дисертаційній роботі дослідження ґрунтуються на застосуванні: теорії статистичного аналізу при проведенні аналітичних досліджень концентрації забруднюючих речовин при реостатних випробуваннях тепловозів; теорії струминних апаратів, законів та методів теоретичної механіки, методів регресійного аналізу при розробці математичної моделі аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою; чисельних методів розрахунків при складанні математичної залежності максимальної разової концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери від геометричних показників джерела викиду відпрацьованих газів тепловозу на пункті реостатних випробувань; розрахункового експерименту – при дослідженні процесів у ежекторному пристрої, при вивченні періодів стабілізації концентрації забруднюючих речовин при зміні навантаження двигуна, при встановленні залежності зміни швидкості виходу в атмосферу газоповітряної суміші від числа встановлених елементів на конусній частині ежекторного пристрою.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці комплексного підходу щодо удосконалення технології реостатних випробувань, який поєднує здавальний цикл періодичних реостатних та екологічних випробування та забезпечує новий спосіб розсіювання

забруднюючих речовин, що дозволяє знизити їх концентрацію в приземному шарі атмосфери.

На відміну від існуючих рекомендацій щодо установки циліндрового каналу над вихлопним патрубком тепловозу на пунктах реостатних випробувань, пропонується нове науково обґрунтовано рішення, при цьому *вперше*:

- розроблено математичну модель рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою для пунктів реостатних випробувань тепловозів в умовах депо, що пов'язує аеродинамічні параметри, які впливають на розсіювання забруднюючих речовин та геометричні параметри ежектора;

- виконано сумісне рішення рівнянь аеродинамічної характеристики та розсіювання газів в атмосфері, що дозволило розрахувати концентрацію шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери з урахуванням ежекції повітря у вхідному патрубку пристрою та визначити висоту викиду відпрацьованих газів для забезпечення допустимої концентрації шкідливих речовин в районі пункту реостатних випробувань;

Удосконалено та дістало подальший розвиток:

- модель процесу розсіювання відпрацьованих газів тепловозів, яка дозволяє ефективно використовувати кінетичну енергію відпрацьованих газів для забезпечення максимальної швидкості виходу їх в повітря.

Практичне значення одержаних результатів:

- удосконалено технологію реостатних випробувань на основі поєднання здавального циклу періодичних реостатних та екологічних випробувань, за допомогою якої забезпечується економія часу та витрати палива, що дозволяють покращити еколого-економічні показники реостатних випробувань;

- виготовлено: експериментальний зразок ежекторного пристрою, за допомогою якого знижується концентрація шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери при проведенні реостатних випробувань тепловозів; зразок індикаторної газовимірювальної трубки, що дозволило визначити швидкісний напір відпрацьованих газів у каналі при проведенні реостатних випробувань тепловозів;

- розроблено методику розрахунку раціональних параметрів ежектора, яка дозволяє вибирати розміри пристрою, що забезпечує зниження концентрації забруднюючих речовин в районі пункту реостатних випробувань тепловозів до допустимих меж.

Результати досліджень рекомендовані до впровадження у локомотивних депо Іловайськ та Волноваха Донецької залізниці, Мелітополь Придніпровської залізниці та впроваджено в навчальний процес у Донецькому інституті залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. В основних працях, що написані в співавторстві, здобувачеві належить: [1] – виконано порівняльний аналіз концентрації шкідливих речовин під час реостатних випробувань; [2] – виконано апроксимацію кусково-змінної залежності впливу окремих величин

на значення максимальної концентрації шкідливих речовин при їх розсіюванні в атмосфері; [3] – встановлено залежність між параметрами, що впливають на характеристики струменевого пристрою; [4] – досліджено взаємозв'язок коефіцієнта ежекції β від геометричних параметрів ежектора для початкової ділянки вільного струменя; [5] – оброблено експериментальні дані концентрації забруднюючих речовин у стабілізаційних періодах при зміні потужності двигуна тепловоза; [6] – розраховано розташування центрів отворів в індикаторній газовимірювальній трубці; [8] – досліджено напрямки зниження концентрацій шкідливих речовин в атмосфері; [12] – розраховано кут конусності парасольки ежекторного пристрою для пунктів реостатних випробувань.

В додаткових працях, що написані в співавторстві, здобувачеві належить: [13] – досліджено взаємозв'язок величин, що впливають на розсіювання відпрацьованих газів на пунктах реостатних випробувань тепловозів; [14] – встановлено залежності між параметрами, що впливають на значення максимальної концентрації шкідливих речовин при їх розсіюванні в атмосфері; [16] – виконано математичну обробку експериментальних даних при дослідженні окремих газових компонентів та їх вплив на розсіювання відпрацьованих газів дизеля; [17] – розраховано металоємність та вартість пристроїв для розсіювання відпрацьованих газів на пунктах реостатних випробувань.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались на V Міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів, студентів (Макіївка, Донецька національна академія будівництва та архітектури, 2006); V Міжнародній науковій конференції аспірантів та студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (Донецьк, Донецький національний технічний університет, 2006); 69-й міжнародній науково-технічній конференції «Рухомий склад та безпека руху на транспорті» (Харків, Українська державна академія залізничного транспорту, 2007); 70-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту, 2010); 2-й міжвузівській науково-технічній конференції «Енерго та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування» (Донецьк, Донецький інститут залізничного транспорту, 2010).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 11 статей у фахових виданнях (чотири з них без співавторів), один патент України та 5 додаткових – у збірниках матеріалів конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків. Повний обсяг дисертації складає 197 сторінки, в тому числі: 39 рисунків, 19 таблиць, 6 додатків на 34 сторінках, список використаних джерел з 73 найменувань на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі; визначено об'єкт, предмет і методологію досліджень; відзначено наукова новизна та практична цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячений аналізу сучасних технологій реостатних випробувань та визначенню концентрацій нормованих токсичних компонентів відпрацьованих газів тепловозів.

Вирішенню теоретичних і практичних питань в області розробки технологій і пристроїв екологічної безпеки на залізничному транспорті присвячені роботи: Єроценкова С. А., Ібрагімова С.О., Каграманяна А. О., Черняка Ю. В., Теслика А. Г., Тартаковського Е. Д., Звонова В. О.

В результаті аналізу нормативних документів з реостатних та екологічних випробувань встановлено наступне.

1. З положень стандартів ЦТ-0043 та ВНД 32.0.06.001-99 витікає, що періодичні реостатні та екологічні випробування проводять при одній постановці тепловоза на пункт реостатних випробувань та за однаковими режимами: попередній прогрів дизеля, 1-й (XX) – холостий хід, 2-й (0,25) – 25% від номінального режиму $N_{e(nom)}$, 3-й (0,5) – 50% від $N_{e(nom)}$, 4-й (0,75) – 75% від $N_{e(nom)}$ та 5-й (1) – $N_{e(nom)}$.

2. Згідно з вимогами ДСП-201-97 та ВНД 32.0.06.001-99 передбачаються заходи з організації безпеки робочого місця. Відповідно до зауважень Міністерства охорони навколишнього природного середовища України необхідно перетворення пунктів реостатних випробувань на організовані джерела викиду забруднюючих речовин. Ці рекомендації реалізуються шляхом встановлення металеві труби висотою не менше 15 метрів.

Згідно з ДСТУ 32.001-94 у відпрацьованих газах тепловозних дизелів, які знаходяться в експлуатації, проводять контроль концентрації оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів (C_mH_n).

При аналізі відпрацьованих газів дизелів тепловозів встановлено залежність концентрації забруднюючих речовин і коефіцієнта надлишку повітря α_s при різних режимах навантаження тепловозів; виконано аналіз витрат палива на цих же режимах роботи; визначено масові витрати шкідливих газових компонентів у відпрацьованих газах.

Аналіз екологічних паспортів тепловоза 2TE116 показав, що зміна концентрацій оксиду вуглецю (рис.1) характеризується низьким показником на режимі холостого ходу (XX): від 0 до 0,125 г/м³. Найбільше значення концентрації CO спостерігалось на режимі тепловоза 50% від $N_{e(nom)}$ від 0,4 до 3,64 г/м³.

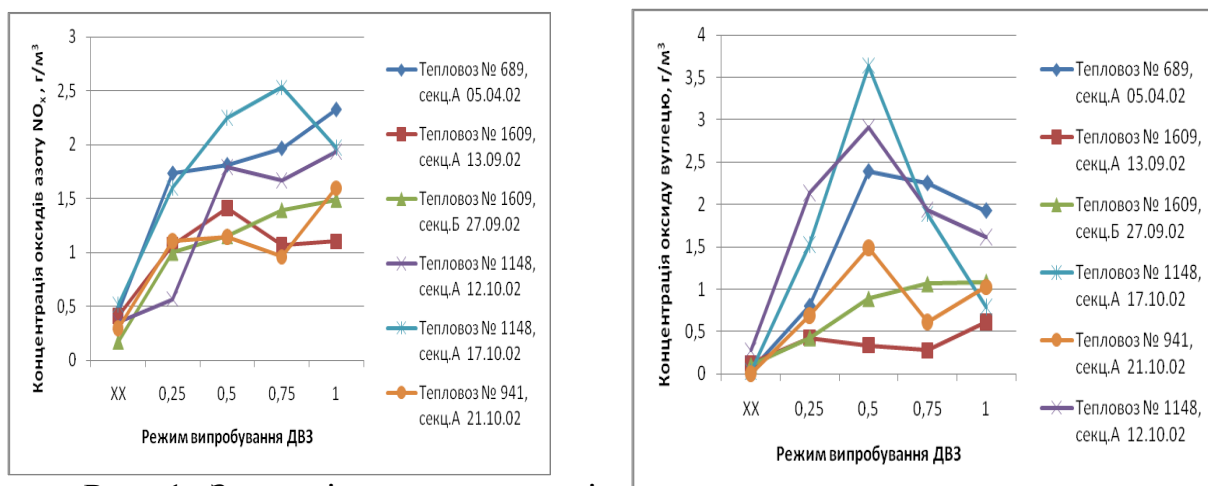


Рис. 1. Залежність концентрації CO та NO_x (г/м³) від режиму випробування тепловоза 2ТЕ116

Концентрація оксидів азоту NO_x (рис.1) характеризується переважно її наростанням від режиму холостого ходу до номінального режиму, при цьому значення концентрації NO_x на N_{e(ном)} складає від 1,16 до 2,4 г/м³.

Великий розбіг концентрацій на окремих режимах випробувань вуглеводнів C_mH_n незначно впливає на токсичність відпрацьованих газів, оскільки гази CO, NO, NO₂ володіють ефектом сумарної шкідливої дії.

Завдяки використанню методики ОНД-86, та з урахуванням гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин обчислено значення приведеної концентрації C'_{прив} = 6, що означає, що розрахункова концентрація забруднюючих речовин від відпрацьованих газів тепловозів у приземному шарі атмосфери без урахування фонових концентрацій буде вище гранично допустимої приблизно у шість разів, що потребує шукати напрямки зменшення забрудненості повітря.

Аналіз сучасних напрямків зниження концентрації шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери свідчить, що поряд з використанням заходів скорочення кількості шкідливих речовин, що утворюються в циліндрі двигуна, здебільш пропонується застосовувати технології знешкодження забруднюючих речовин. Зокрема запропоновано пристрої зі змінними фільтрами і примусовим рухом відпрацьованих газів, що викликає додаткові експлуатаційні витрати і вимагає методів регенерації фільтрів. Існуючі технології знешкодження забруднюючих речовин на сучасному етапі у сотні разів дорожче платні за викиди шкідливих речовин. Це стримує розробку і впровадження технологій знешкодження забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тепловозів.

Завдяки використанню різних способів зниження утворення шкідливих речовин у циліндрі дизеля можна зменшити валовий викид забруднюючих речовин на 20-30%, але не можна повністю вирішити проблему зниження концентрацій шкідливих речовин у повітрі.

Розсіювання відпрацьованих газів у великому об'ємі атмосфери не знижує загального забруднення повітря, воно зумовлює лише зниження

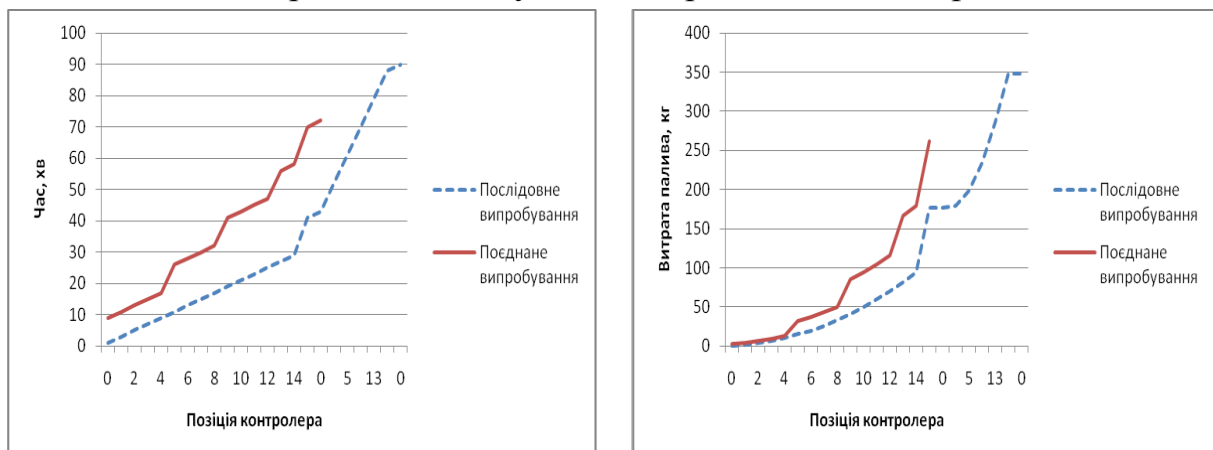
концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери. Проте таке рішення не вимагає великих капітальних затрат і практично виключає експлуатаційні витрати. Якщо під час руху потяга розсіювання відбувається природним чином, то пункти реостатних випробувань локомотивів є точковим джерелом викиду забруднюючих речовин, що потребує додаткових заходів щодо зниження концентрацій шкідливих речовин.

Реалізація існуючих рекомендацій щодо встановлення циліндрових каналів над джерелами викиду забруднюючих речовин на пунктах реостатних випробувань призводить до «підхоплення» атмосферного повітря і відповідно до роботи такого каналу як ежектор.

«Підхоплення» атмосферного повітря збільшує загальну кількість газоповітряної суміші, що викидається, призводить до зниження її температури і впливає на ефективність розсіювання відпрацьованих газів. Ця обставина викликає необхідність розробки методики розрахунку та вибору раціональних геометричних параметрів ежекторного пристрою.

Другий розділ присвячено розгляду удосконалення технології періодичних реостатних та екологічних випробувань шляхом їх поєднання та створенню теоретичної бази для розрахунку раціональних параметрів ежекторного пристрою для розсіювання викидів забруднюючих речовин тепловоза на пунктах реостатних випробувань. На прикладі тепловоза 2ТЕ116 виконане розрахункове порівняння часу та витрати палива при послідовних та поєднаних випробуваннях (рис. 2). При цьому екологічні випробування поєднуються зі здавальним циклом періодичних реостатних випробувань, що призводить до зменшення часу випробувань та зниження витрати палива.

Рис. 2. Порівняння часу та витрати палива при послідовних



та поєднаних випробуваннях тепловоза 2ТЕ116

При поєднаних випробуваннях за один цикл витрата палива знижується в інтервалі від 86 до 121кг, а зменшення часу складає в інтервалі від 18 до 29 хвилин. Зниження часу та витрати палива зменшує викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря, що поліпшує еколого-економічні показники реостатних випробувань.

Теоретичною базою для розрахунку раціональних параметрів ежекторного пристрою є комплексна математична модель розсіювання викидів забруднюючих речовин тепловозом при проведенні реостатних випробувань.

До складу комплексної математичної моделі входить рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою, яке пов'язує між собою параметри: кількість та температура відпрацьованих газів, кількість та температура «підхопленого» повітря, геометричні параметри ежекторного пристрою.

Для розробки аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою використано рівняння збереження імпульсів кількості руху. Рішення цього рівняння дозволило отримати рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою у вигляді

$$\omega_c = \omega_1 \frac{1 + \beta\theta}{(1 + 1,93\beta)^2}, \quad (1)$$

де ω_c - швидкість руху ежектуючого газу (відпрацьовані газів);

ω_1 - швидкість руху газової суміші у вихідному перерізі ежекторного пристрою;

β - коефіцієнт ежекції;

θ – безрозмірна температура.

$$\beta = G_2 / G_1, \quad (2)$$

де G_2 – масова витрата атмосферного повітря, кг/с;

G_1 - масова витрата відпрацьованих газів, кг/с.

$$\theta = T_2 / T_1, \quad (3)$$

де T_2 – температура атмосферного повітря, К;

T_1 - температура відпрацьованих газів, К.

У ежекторному пристрої ділянка вільного газового струменя має місце між вихідним патрубком двигуна внутрішнього згорання до зіткнення цього газового потоку зі стінками ежекторного пристрою. Саме на цій ділянці відбувається «підхоплення» повітря до газового потоку відпрацьованих газів. У дисертаційній роботі встановлено, що коефіцієнт ежекції β для початкової ділянки струменя є геометричною характеристикою, яка пов'язує площу поперечного перерізу вихлопного патрубка дизеля тепловоза f_1 та площу поперечного перерізу ежекторного пристрою f_3

$$\beta = 0,517 \left(\sqrt{\frac{f_3}{f_1}} - 1 \right). \quad (4)$$

Для оцінки розсіювання викидів в атмосферному повітрі обрано методику ОНД-86. Вона висвітлює цей процес з огляду на найгірші показники всіх метеорологічних параметрів, що впливають на його перебіг.

Складність розрахункових залежностей для визначення концентрацій C_m пояснюється тим, що вона визначена для широких меж зміни чинників, що впливають на розсіювання.

Після дослідження взаємозв'язку змінних, що впливають на розсіювання, для діючих тепловозів обрані наступні межі зміни цих величин:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta T = 100 \dots 600^\circ C; \\ H = 3 \dots 20 м; \\ V_{cm} = 1800 \dots 12000 м^3 / c; \\ \omega_c = 10 \dots 100 м / c \end{array} \right\} \quad (5)$$

Метою спільного вирішення рівняння розсіювання газів в атмосфері (згідно з методикою ОНД-86 для точкового джерела викиду) і рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою (3) є встановлення аналітичної залежності для визначення концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери та необхідної висоти викиду відпрацьованих газів дизеля тепловоза на пунктах реостатних випробувань для зниження концентрації забруднюючих речовин до допустимих меж.

Концентрація шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери визначається за формулою

$$C_M = \frac{401,6 \cdot M(1 + \beta)^{0,0794}}{\omega_c^{0,3808} H^{1,4922} G_1^{0,4603} T_1^{0,5397} (1 + \beta\theta)^{0,4603} (1 - \theta)^{0,0794}}, \quad (6)$$

а розрахункова залежність для визначення необхідної висоти викиду газів, що забезпечує зниження концентрації забруднюючих речовин до величини $C'_{прив}$ має вигляд

$$H \geq 256,3 \left[C_{гдга}^{0,6702} \cdot G_T^{0,1065} \cdot J_1^{0,2552} (1,036 + 1,183\beta)^{0,6702} \right] \times \left[(0,87 + 0,0943\alpha_\Sigma - 0,0037\alpha_\Sigma^2)^{0,6702} \cdot T_1^{-0,6169} \right], \quad (7)$$

де $C'_{прив} = \frac{CO}{ГДК_{CO}} + \frac{CH}{ГДК_{CH}} + \frac{NO_x}{ГДК_{NO_2}}$ – приведена концентрація шкідливих речовин, мг/м³;

CO , CH , NO_x – концентрації у відпрацьованих газах відповідно оксиду вуглецю, вуглеводнів і оксидів азоту, мг/м³;

$\boxed{ГДК_{CO}}$, $\boxed{ГДК_{CH}}$, $\boxed{ГДК_{NO_2}}$ – гранично допустимі разові концентрації CO , CH , NO_2 ;

α_Σ – коефіцієнт надлишку повітря та G_T – втрата палива, кг/год (визначається за даними реостатних випробувань).

Аналіз формули (7) довів, що необхідна висота викиду зменшується при підвищенні температури повітря та при зниженні кількості «підхопленого» повітря, що оцінюється коефіцієнтом ежекції, при зменшенні витрати палива та зниженні коефіцієнту надлишку повітря. Отримана залежність (7) є

розрахунковою для такого каналу, який дозволяє забезпечити достатнє розсіювання відпрацьованих газів і знизити концентрацію шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери до допустимих меж і є досить універсальною як база для вирішення подібних завдань в різних галузях для розрахунку висоти від точкового джерела викиду забруднюючих речовин.

У третьому розділі наведено експериментальну базу для проведення досліджень, спрямованих на уточнення комплексної математичної моделі процесу розсіювання викидів забруднюючих речовин від дизелів тепловозів. Її становлять:

- експериментальне обладнання та методика для проведення досліджень технології реостатних випробувань тепловозів (рис.3);

- експериментальний зразок ежекторного пристрою для визначення можливості регулювання кількості «підхопленого» повітря при розсіюванні відпрацьованих газів в атмосфері в районі пункту реостатних випробувань (рис.5);

- індикаторна трубка для вимірювання швидкісного напору у перерізі потоку відпрацьованих газів.

Методика проведення експериментальних досліджень спрямована на вирішення завдань регулювання швидкості викиду в атмосферу газоповітряної суміші шляхом встановлення різної кількості змінних елементів конусної частини ежекторного пристрою та дослідження періоду стабілізації концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах при зміні потужності двигуна.

Кількість підхопленого в ежекторній пристрій атмосферного повітря визначалося за балансом газових компонентів. Вихідне рівняння газового балансу має вигляд

$$C_{O_2, \epsilon} \cdot V_{\epsilon} + C_{O_2, \epsilon} \cdot V_{\epsilon} = C_{O_2, \text{см}} (V_{\epsilon} + V_{\epsilon}),$$

□

звідки

$$V_{\epsilon} = V_{\epsilon} \frac{C_{O_2, \text{см}} - C_{O_2, \epsilon}}{C_{O_2, \epsilon} - C_{O_2, \text{см}}},$$

(8)

де $C_{O_2, \epsilon}, C_{O_2, \epsilon}, C_{O_2, \text{см}}$ - об'ємні концентрації кисню, відповідно, в атмосферному повітрі, у відпрацьованих газах і в ежекторному пристрої.

Точність розрахунків за формулою (8) та загальна похибка досліджень залежить як від похибок вимірювальних приладів, що пройшли необхідну перевірку, так і від якості процесу вимірювання. Останнє полягає в обліку наявності при згорянні палива стабілізаційних періодів з виділення газових компонентів CO, NO_x, O₂, яке має місце при запуску двигуна внутрішнього згорання і при зміні його потужності.

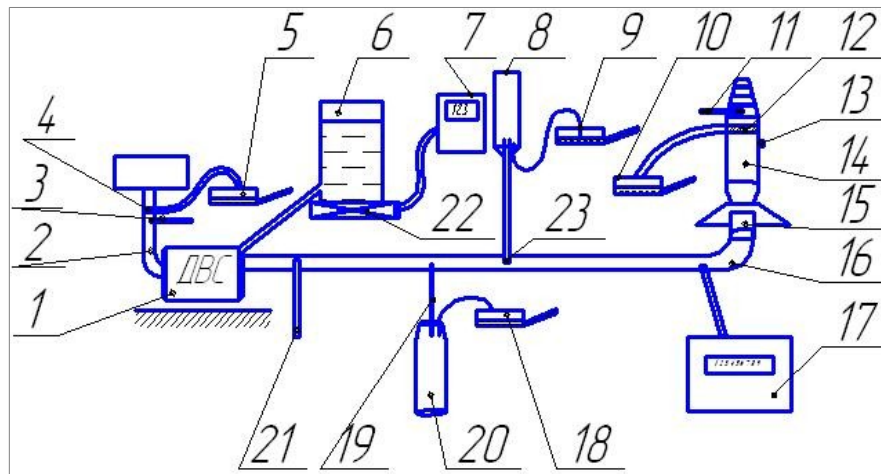


Рис. 3. Експериментальне обладнання для дослідження процесів в ежекторному пристрої: 1 – двигун внутрішнього згоряння К-461; 2 – повітрепровід; 3, 11, 21 – ртутні лабораторні термометри; 4, 12, 23 – індикаторні газовимірювальні трубки; 5, 9, 10, 18 – мікроманометри ММН-250; 6 – живильна ємкість дизельного палива; 7 – індикатор ваги палива в ємкості; 8, 20 – ємкості для зменшення пульсацій газового потоку; 13 – патрубок для підключення газоаналізатора; 14 – ежекторний пристрій; 15 – патрубок газоходу, що переміщується; 16 – газопровід; 17 – газоаналізатор VSI150EURO; 19 – трубка Піто-Прандтля; 22 – ваги для витрат палива.

Для вивчення періодів стабілізації газовиділень проведені експерименти з підвищенням, з пониженням потужності дизеля та з короткими перервами в роботі двигуна на 7, 20, 26 хв (рис. 4). Для всіх чотирьох циклів спостережень виявляються наступні загальні закономірності. При всякій різкій зміні потужності двигуна різко змінюється концентрація у відпрацьованих газах оксидів вуглецю CO і азоту NO_x . При цьому при збільшенні потужності період стабілізації концентрації оксидів вуглецю CO і азоту NO_x за даними спостережень складає приблизно 6 хвилин. Досягнення максимуму концентрації CO відбувається приблизно за 40 секунд після включення двигуна. Стабілізація концентрації кисню у відпрацьованих газах при різкій зміні потужності двигуна відбувається за 30 - 35 сек, тому за індикаторний газ при балансових газових розрахунках слід приймати саме кисень O_2 .

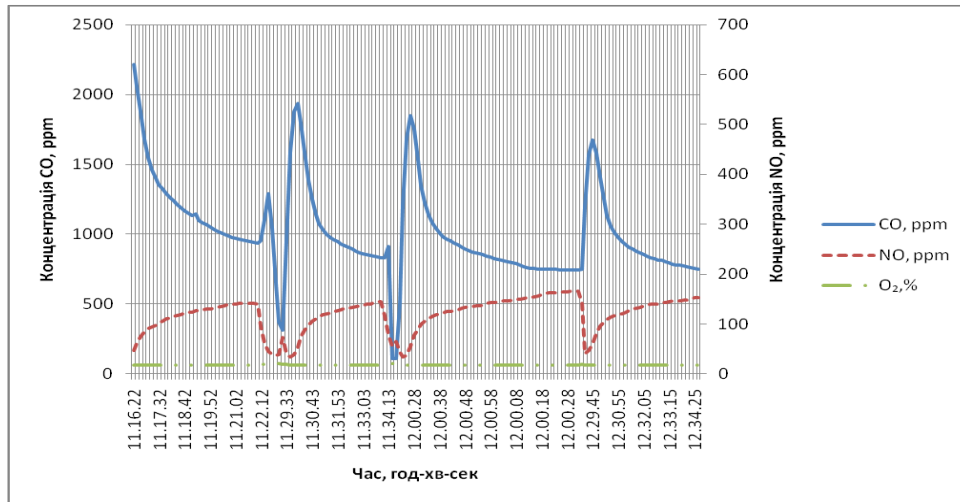


Рис. 4. Динаміка зміни концентрації забруднюючих речовин O_2 , CO , NO_x у відпрацьованих газах двигуна К461

За допомогою експериментального зразка ежекторного пристрою (рис.5) визначалась можливість регулювання кількості «підхопленого» повітря, а також швидкості виходу газоповітряної суміші в атмосферу за рахунок змінних елементів вихлопного патрубку ежектора, що дозволяє

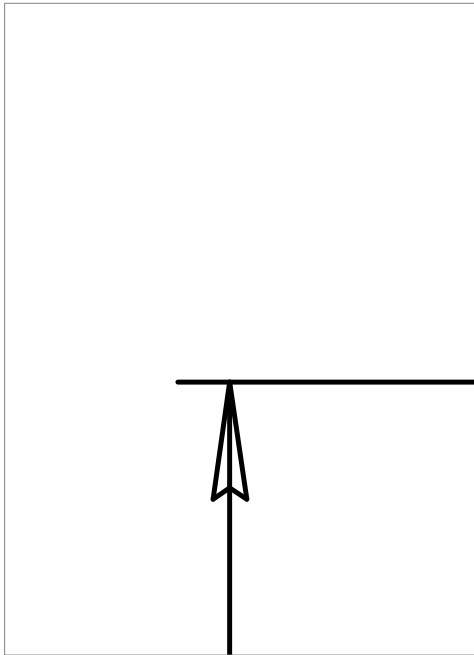


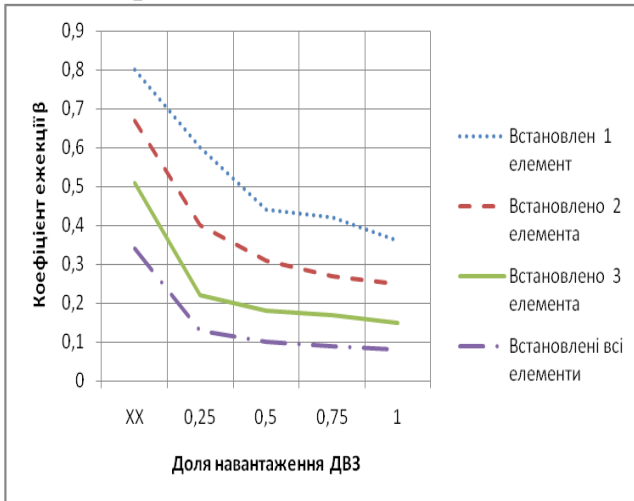
Рис. 5. Схема ежекторного пристрою: 1– вхідний патрубок тепловоза; 2–парасолька; 3– приймальна камера; 4– камера змішування; 5 – основна частина каналу; 6, 7, 8 – допоміжні змінні елементи.

поліпшити розсіювання відпрацьованих газів при випробуваннях дизелів різної потужності і, відповідно, різній кількості газів, що викидаються в атмосферу.

Результуючий вплив повітря, що підхоплюється, встановлено в розділі 2 на основі спільного вирішення рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою і рівняння, що описує розсіювання газів.

Це рішення показало, що розсіювання шкідливих газів в атмосфері покращується зі зменшенням коефіцієнта ежекції. Для визначення коефіцієнта β здійснено 4 серії вимірів при установці різного числа елементів вихлопного патрубку ежекторного пристрою (рис 6).

З рис. 6 видно, що зі збільшенням кількості елементів конусної частини ежектора значення коефіцієнта ежекції знижується. Відповідно зменшується концентрація шкідливих газів. Це пояснюється тим, що зменшення площини поперечного перерізу викликає збільшення швидкості виходу газової суміші. Таким чином, за рахунок регулювання площини поперечного перерізу вихлопного патрубка ежекторного пристрою шляхом установки різної кількості елементів конусної частини пристрою можна знижувати концентрацію шкідливих речовин в приземному шарі



поперечного перерізу викликає збільшення швидкості виходу газової суміші. Таким чином, за рахунок регулювання площини поперечного перерізу вихлопного патрубка ежекторного пристрою шляхом установки різної кількості елементів конусної частини пристрою можна знижувати концентрацію шкідливих речовин в приземному шарі

атмосфери і цим змінювати

висоту пристрою. Наявність змінних елементів з різними діаметрами дозволяє забезпечувати найкраще розсіювання відпрацьованих газів при випробуваннях дизелів тепловозів різної потужності.

У четвертому розділі викладено практичні пропозиції щодо удосконалення технології реостатних випробувань, а також методика розрахунку геометричних параметрів ежекторного пристрою. Як вихідні, прийняті дані реостатних випробувань тепловоза 2ТЕ116, як основного магістрального тепловоза України.

Встановлено, що на ефективність розсіювання відпрацьованих газів впливають не лише висота викиду газів, але й розміри вхідного і вихідного отворів ежекторного пристрою, до методики розрахунку внесено розрахункові залежності для площини поперечного перерізу вихлопного патрубку ежекторного пристрою.

Розраховані основні геометричні параметри ежекторного пристрою дозволили розробити розгортки всіх поверхонь для виготовлення ежекторного пристрою, який забезпечує розсіювання відпрацьованих газів дизеля тепловоза 2ТЕ116.

Поєднання екологічних випробувань зі здавальним циклом періодичних реостатних випробувань дизеля дозволяє скоротити загальний час випробувань та витрату палива на їх проведення.

Економічний ефект від скорочення витрат палива на проведення реостатних випробувань у цінах 2010 року складає від 89424 до 119232 грн. за рік за даними депо Волноваха.

Скорочення суми виплат з фондів заробітної плати за рахунок скорочення часу проведення реостатних випробувань у цінах 2010 року складає від 2287,5 до 4575 грн. за рік за даними депо Волноваха.

З урахуванням рекомендацій щодо реорганізації пунктів екологічного контролю, проведено аналіз зменшення вартості зведення запропонованого ежекторного пристрою для розсіювання відпрацьованих газів. Проведене порівняння з установленням циліндрового каналу показало, що:

- початковий циліндровий варіант каналу в 15 м скорочено в 1,5 рази;
- економічний ефект капітальних витрат з урахуванням вартості металу, виготовлення та монтажу ежекторного пристрою у порівнянні з рекомендованим циліндровим каналом в цінах 2010 року складає 19,04 тис.грн.

Зменшення збитку, що заподіюється викидами нормованих забруднюючих речовин в атмосферне повітря в цінах 2010 року складає 318,6 грн. за рік.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню технології реостатних випробувань тепловозів з метою підвищення еколого-економічної ефективності реостатних випробувань тепловозів шляхом поєднання здавальних і екологічних випробувань та зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери шляхом використання нового пристрою для розсіювання відпрацьованих газів у районі пунктів реостатних випробувань.

У процесі виконання роботи здійснено аналіз нормативних документів реостатних випробувань; за результатами 49 екологічних випробувань встановлено середні значення концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах, отримано закономірності їх зміни при роботі дизеля тепловоза на різних позиціях контролера; визначена токсичність відпрацьованих газів; розрахована концентрація забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери в районі пункту реостатних випробувань.

У процесі виконання роботи отримані наступні результати.

1. Проведений системний аналіз нормативних документів і розроблена класифікація можливих способів зниження концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі довели, що розсіювання відпрацьованих газів тепловозів на теперішній час є реальним засобом зниження концентрації забруднюючих речовин у районі пунктів реостатних випробувань тепловозів.

2. З використанням методики ОНД-86 доведено, що концентрація забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери від відпрацьованих газів тепловозів перевищує допустимі межі приблизно в шість разів.

3. Розроблено технологію поєднаного проведення періодичних реостатних та екологічних випробувань тепловозів. Поєднання екологічних випробувань зі здавальним циклом реостатних випробувань дизеля дозволяє скоротити загальний час випробувань та витрату палива на їх проведення. При поєднаних випробуваннях тепловоза 2ТЕ116 витрата палива за один

цикл знижується в інтервалі від 86 до 121кг та час випробувань зменшується в інтервалі від 18 до 29 хвилини.

4. Проведено теоретичне обґрунтування зниження концентрації забруднюючих речовин від відпрацьованих газів дизелів тепловозів при реостатних випробуваннях з наявністю ежекторного пристрою, який захищено деклараційним патентом України на корисну модель.

5. Вперше отримано залежність коефіцієнту ежекції від співвідношення площин поперечного перерізу вихлопного патрубка дизеля тепловоза і вхідного патрубка ежекторного пристрою для початкової ділянки вільного струменя потоку відпрацьованих газів.

6. Аналітичним шляхом вперше виведено рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою, що пов'язує швидкість виходу відпрацьованих газів з вихлопного патрубка тепловоза, швидкість виходу газоповітряної суміші з ежектора з урахуванням втрат тиску на вхід та рух потоку в ежекторному пристрої.

7. Виконано спільне розв'язання рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою і рівняння, що характеризує розсіювання газів в атмосферному повітрі, що дозволило отримати залежність для визначення раціональної висоти викиду відпрацьованих газів на пунктах реостатних випробувань тепловозів.

8. Створено експериментальну і методологічну базу для дослідження процесів розсіювання забруднюючих речовин на пунктах реостатних випробувань тепловозів.

9. Розроблено експериментальний зразок пристрою, який відрізняється тим, що конусна частина пристрою поділена на окремі елементи, зі змінною площиною поперечного перерізу вихлопного патрубка пристрою, що змінює швидкість виходу в атмосферу газоповітряної суміші і змінює умови розсіювання газів в атмосфері. Це дозволяє при випробуваннях дизелів різних навантажень покращити умови розсіювання відпрацьованих газів в атмосферному повітрі.

10. При дослідженнях динаміки зміни концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах встановлено, що під час роботи дизеля і зміні режимів його роботи виникають стабілізаційні періоди при утворенні оксиду вуглецю і оксидів азоту. При включенні дизеля і збільшенні його потужності різко збільшується концентрація оксиду вуглецю і наростає концентрація оксидів азоту, а при зниженні навантаження, навпаки, мають місце протилежні закономірності. Тривалість стабілізаційних періодів з утворення оксидів вуглецю і азоту досягає 6 хвилин. Встановлено, що концентрація кисню у відпрацьованих газах стабілізується протягом 30-40 сек. Тому при визначенні витрати газоповітряної суміші в ежекторному пристрої згідно з балансом окремих газових компонентів як індикаторний газ рекомендується приймати кисень.

11. Експериментально досліджено закономірність зміни коефіцієнта ежекції залежно від навантаження дизеля та від кількості елементів на

конусній частині ежекторного пристрою, що дозволяє при реостатних випробуваннях різних дизелів тепловозів оптимізувати процеси розсіювання відпрацьованих газів.

12. Розрахункова економічна ефективність від поєднання випробувань у цінах 2010 року складає від 91,7 до 123,8 тис. грн. за рік. Розрахункова економічна ефективність від впровадження ежекторного пристрою у цінах 2010 року складає 19,04 тис. грн. Розрахункова екологічна ефективність заходів, що знижують концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери у районі пункту реостатних випробувань у цінах 2010 року складає 318,6 грн. за рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Черняк Ю. В. Влияние работы тепловозов при их реостатных испытаниях на приземную концентрацию вредных веществ / Ю.В. Черняк, О. В. Трубихин, Е. А. Бондарь // Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. – Макіївка, ДонНАБА, 2005. – Вип. 7(55). – С. 97-100.

2. Черняк Ю. В. Визначення параметрів газоповітряного потоку при розсіюванні відпрацьованих газів тепловозів / Ю. В. Черняк, М.В. Паламарчук, А. М. Гушин, О. А. Бондар, М. В. Володарець // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2007. – № 9. – С.125-135.

3. Паламарчук Н. В. Уравнение характеристики ежекторного устройства для рассеивания отработавших газов на пунктах реостатных испытаний / Н. В. Паламарчук, Ю. В. Черняк, А. М. Гушин, Е.А. Бондарь // Безпека руху та людський фактор. – Харків, УкрДАЗТ, 2007. – Вип.82. – С.157-161.

4. Черняк Ю. В. Влияние габаритных размеров эжекторного устройства на его коэффициент эжекции / Ю. В. Черняк, А. М. Гушин, Е. А. Бондар // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. – Харків, УкрДАЗТ, 2008. – Вип.96. – С.30-35.

5. Черняк Ю. В. Обоснование выбора газовых компонентов в отработавших газах ДВС для построения газовых балансовых уравнений / Ю. В. Черняк, А. М. Гушин, В. И. Дорошко, Е.А.Бондар, О. В. Трубихин // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – № 19. – С.125-135.

6. Черняк Ю.В. Воздухомерная интегрирующая трубка / Ю. В. Черняк, А. М. Гушин, Н. В. Сунцов, А. Н. Сунцов, Е. А. Бондарь // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.108. – С. 65-69.

7. Бондарь Е. А. Лабораторная установка для испытания эжекторного устройства / Е. А. Бондарь // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2009. – № 20. - С.131-135.

8. Паламарчук Н. В. Пути снижения концентраций вредных веществ в воздухе на пунктах реостатных испытаний тепловозов / Н. В. Паламарчук, Ю. В. Черняк, А. М. Гущин, Е. А. Бондарь // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. –Донецьк, 2010. – № 21. – С.170-172.

9. Бондарь Е. А. Уточненное уравнение аэродинамической характеристики эжекторного устройства / Е. А. Бондарь // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2010. – №21. – С.198-205.

10. Бондарь Е. А. Исследование коэффициента эжекции во входной части эжекторного устройства / Е. А. Бондарь // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2010. – № 22. – С.109-113.

11. Бондарь Е. А. Совмещенные технико-экологические реостатные испытания / Бондарь Е. А. // Зб. наук. пр. ДонІЗТ. – Донецьк, 2010. – № 24. – С.77-80.

12. Пат. № 26412 Пристрій для розсіювання продуктів згоряння при реостатних випробуваннях тепловозів: Пат. UA26412U; Заяв.26.02.2007; Опубл.25.09.2007, Бюл.№15, 2007. – 4с.

Додаткові:

13. Володарец Н. В. Влияние параметров газового потока на рассеивание вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов / Н. В. Володарец, Е. А. Бондарь, Ю. В. Черняк // Зб. доп. V міжнарод. наук. конф. аспірантів та студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів». – Донецьк: ДонНТУ, 2006. – Т.1 – С.30-31.

14. Бондарь Е. А. Влияние параметров газового потока на рассеивание вредных веществ в атмосферном воздухе при реостатных испытаниях тепловозов / Е. А. Бондарь, Н. В. Володарец // Матеріали V міжнарод. наук. конф. молодих вчених, аспірантів, студентів. – Макіївка, ДонНАБА, 2005. – Вип. 2006 – 4(60), с.75-77.

15. Бондарь Е. А. Снижение концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы при реостатных испытаниях тепловозов / Е. А. Бондарь // Міжнарод. наук. – прак. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ, 2010. – С.56.

16. Тарасенко Ю. В. Переходные газодинамические процессы в двигателе К461 / Ю. В. Тарасенко, А. М. Гущин, В. И. Дорошко, Е. А. Бондарь // Матеріали наук. конф. студентів, молодих вчених та викладачів. – Донецьк, ДонІЗТ, 2010. – Ч.1. – С.47-48.

17. Паламарчук Н. В. Снижение металлоемкости и стоимости устройств для рассеивания отработавших газов на пунктах реостатных испытаний тепловозов / Н. В. Паламарчук, А. М. Гущин, Ю. В. Кривошея, Е. А. Бондарь // Матеріали 2-й міжвузівській наук. – техн. конф. «Енерго та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування». – Донецьк, ДонІЗТ, 2010. – С. 37.

АНОТАЦІЯ

Бондар О.А. Удосконалення технології реостатних випробувань тепловозів для зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2011.

Робота присвячена удосконаленню технології реостатних випробувань тепловозів з метою підвищення рівня екологічної безпеки та зменшення матеріальних витрат на реорганізацію пунктів реостатних випробувань шляхом поєднання здавальних та екологічних випробувань та за рахунок установки ежекторного пристрою. В результаті проведених досліджень розроблено рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою для розсіювання газів, проведено спільне рішення рівняння аеродинамічної характеристики ежекторного пристрою та рівняння розсіювання викидів забруднюючих речовин згідно з методикою ОНД-86, експериментально досліджені стабілізаційні періоди концентрації забруднюючих речовин при зміні навантаження дизельного двигуна. Встановлена закономірність зміни швидкості виходу в атмосферу газоповітряної суміші залежно від числа встановлених елементів на конусній частині ежекторного пристрою.

Розроблено методику розрахунку раціональних параметрів ежектора, яка дозволяє обирати розміри пристрою, що забезпечує зниження концентрації шкідливих речовин в приземному шарі атмосфери до допустимих меж в районі пункту реостатних випробувань тепловозів.

Розроблено технологію поєднаного проведення періодичних реостатних та екологічних випробувань тепловозів, яка забезпечує скорочення часу реостатних випробувань та зменшення витрат на їх проведення.

Ключові слова: тепловоз, реостатні випробування, відпрацьовані гази.

АННОТАЦИЯ

Бондарь Е.А. Усовершенствование технологии реостатных испытаний тепловозов для снижения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы. – На правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2011.

Работа посвящена усовершенствованию технологии реостатных испытаний тепловозов с целью повышения уровня экологической

безопасности на основе совмещения периодических реостатных и экологических испытаний дизелей тепловозов и уменьшения материальных расходов на дальнейшего развития мероприятий для снижения концентрации вредных веществ за счет установки эжекторного устройства на пунктах реостатных испытаний в условиях депо.

Системный анализ нормативных документов позволил разработать технологию совместного проведения периодических реостатных и экологических испытаний тепловозов. В результате проведенных расчетов при совмещении сдаточного цикла периодических реостатных и экологических испытаний на примере тепловоза 2ТЭ116 показано, что за один цикл экономия затрат топлива составляет в интервале от 86 до 121 кг и время испытаний снижается в интервале от 18 до 29 минут.

При анализе отработавших газов на основании данных Экологических паспортов основного магистрального тепловоза Украины 2ТЭ116 по данным депо Волноваха установлена зависимость концентрации нормируемых загрязняющих веществ отработавших газов от режима нагрузки дизеля на пунктах реостатных испытаний тепловозов; исследовано изменение коэффициента избытка воздуха и расхода топлива при этих режимах; определены массовые расходы вредных газовых компонентов в отработавших газах при испытаниях тепловоза.

Содержание теоретических исследований диссертационной работы заключается в изучении аэродинамических процессов в эжекторном устройстве и влияние этих процессов на рассеивание загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы в процессе реостатных испытаний. Отдельными вопросами для этих исследований является установление зависимостей количества подхватываемого воздуха во входном сечении эжекторного устройства, определения аэродинамической характеристики эжекторного устройства, совместное решение аэродинамической характеристики эжекторного устройства и уравнения для определения концентрации загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы по методике ОНД-86, как наиболее полно учитывающей условия наихудших метеорологических параметров, влияющих на процесс рассеивания загрязняющих веществ.

Экспериментально исследованы периоды стабилизации концентрации нормируемых загрязняющих веществ при изменении нагрузки дизельного двигателя с использованием опытного образца эжекторного устройства для рассеивания отработавших газов на пунктах реостатных испытаний тепловозов. Установлена закономерность изменения скорости выхода в атмосферу газовой смеси в зависимости от числа установленных элементов на конусной части эжекторного устройства. Изготовлена и экспериментально апробована индикаторная трубка, для определения скоростного напора в канале отработавших газов дизеля.

Разработана методика расчета рациональных параметров эжектора, которая позволяет выбирать размеры устройства, которое обеспечивает снижение концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы до допустимых пределов в районе пункта реостатных испытаний тепловозов.

Разработаны рекомендации по внедрению предложенных технических решений в локомотивных депо Донецкой и Приднепровской железных дорог.

Ключевые слова: тепловоз, реостатные испытания, отработавшие газы.

THE SUMMARY

Bondar O.A. Improving the technology rheostat test locomotives to reduce the concentration of harmful substances in the surface layer of the atmosphere. - Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.07 - Rolling stock of railways and pull trains. - Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2011.

This work is dedicated to improving technology rheostat test locomotives to improve environmental safety and reducing material costs for reorganization items rheostat test by installing of ejector device. As a result of the investigation the equation of aerodynamic characteristics of ejector device of diffusing gases experimentally studied transient load changes the diesel engine. The established pattern of change rate of exit into the atmosphere gas-air mixture depending on the number of installed elements on the conical part of ejector device.

The method for calculating the rational parameters of the ejector is developed, which allows you to choose the size of the device, which reduces the concentration of pollutants in the surface layer of the atmosphere to permissible limit in the item rheostat test locomotives.

The technology of superposed periodically rheostat and ecological locomotives testing is developed, wish reduces the time and the cost of rheostat testing.

Keywords: locomotive, rheostat tests the exhaust gases.

Бондар Олена Анатоліївна

УДК 621.436:533.697.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕОСТАТНИХ ВИПРОБУВАНЬ
ТЕПЛОВОЗІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ШКІДЛИВИХ
РЕЧОВИН В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. Агулов А.Ф.

Підписано до друку 12.12 2011 р.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times
Друк офсетний. Умов. друку. л. 1,0.
Тираж 100 екз. Видавн. № 1 Замовлення № 105

Видавництво Донецького інституту залізничного транспорту.
Свідоцтво про внесення до Держ. реєстру від 22.06.2004р.,
серія ДК №1851
Ділянка оперативної поліграфії
Донецького інституту залізничного транспорту.