

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Левтеров Олександр Антонович

УДК 621.43.001.4

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЗУМОВЛЕНОЇ ВТОМОЮ
ТА ТРИВАЛОЇ МІЦНОСТІ ДЕТАЛЕЙ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ
ШВИДКОХІДНИХ ДИЗЕЛІВ

05.05.03—Теплові двигуни

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 1999

Дисертація є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Двигуни внутрішнього згоряння” Харківського державного політехнічного університету Міністерства освіти України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Абрамчук Федір Іванович, ХДПУ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Зарєнбін Володимир Георгійович,
завідуючий кафедрою;

кандидат технічних наук, Гонтаровський Павел Петрович
ІПМаш

Провідна установа: Харківський державний автомобільно-дорожній
технічний університет

Захист відбудеться “_18_” листопада_1999 р.о ___13⁰⁰___ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 64.820.03 при Харківській державній академії залізничного транспорту за адресою:
310050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного
транспорту, 310050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий “_16_” жовтня _____1999 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради

В.М.Лялюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) і в майбутньому будуть залишатися основним засобом перетворення енергії в автономних силових установках, а тому висуваються дуже жорсткі вимоги до їхнього удосконалення як з огляду токсичності та паливної економічності, так і з огляду надійності. Без високої надійності елементів конструкції двигуна, зокрема зумовленої втомою та тривалої міцності деталей камери згорання (КЗ), є неможливим вирішення проблеми конкурентоспроможності перспективних швидкохідних дизелів. Як показує багаторічний досвід, створення перспективних ДВЗ з технічним рівнем, що відповідає світовим стандартам, або модернізація серійних двигунів та їх агрегатів, вимагає проведення значного обсягу дослідницьких робіт. Особливо трудомісткими є випробування на надійність, які виносять остаточний вирок, що до придатності двигуна. Так, визначення реальних показників надійності сучасного вітчизняного двигуна можливе за умов проведення його випробувань з напрацюванням не менше як 8000...9000 мотогодин. У зв'язку з цим великої ваги набуває фізичне моделювання реального процесу накопичування пошкоджень в деталях двигуна. При дослідженні складних фізичних процесів найбільш плідною є паралельна розробка математичної та експериментально-фізичної моделей, що дає можливість визначити у фізичному експерименті найбільш суттєвий напрямок дослідження, урахувати його в математичній моделі та виконати потім числовий експеримент. В поєднанні з автоматизацією та комп'ютеризацією випробувань, обробкою інформації про нестационарні процеси та параметри робочого процесу, удосконаленням способів та методів прискорення випробувань фізичне моделювання зумовленого втомою руйнування деталей КЗ є реальним підґрунтям скорочення терміну та зниження витрат при створенні та удосконаленні двигунів. В країнах з розвинутим двигунобудуванням роботи по створенню автоматизованих випробувальних систем, що забезпечують, зокрема фізичне моделювання руйнування деталей, вузлів, агрегатів та двигуна в цілому, досягли величезних масштабів. У перспективі можливе створення міжнародної організації з систематизації випробувальних систем та стандартизації шляхів рішення загальних задач двигунобудування.

Дисертаційна робота присвячена питанням фізичного моделювання руйнування деталей КЗ швидкохідних дизелів з застосуванням сучасних засобів автоматизації та способів прискорення випробувань і є, таким чином, актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрямок та постановка задачі дисертаційного дослідження відповідають Державній програмі розвитку двигунобудування України на 1996-2000р.р. та проекту Міністерства Освіти України на 1997-1999рр. «Проведення фундаментальних досліджень і розробка фізико-хімічних основ

підвищення до світового рівня експлуатаційних показників автомобільних двигунів українського виробництва по комплексу критеріїв максимального тепловикористання та найменшої токсичності при заданому рівні тривалої міцності та широкому використанні альтернативних палив та матеріалів», що виконується кафедрою ДВЗ Харківського державного політехнічного університету.

Мета та задачі дослідження. Відповідно до напрямку дисертаційного дослідження виникає необхідність розв'язання завдань:

1. Вибір та обґрунтування методу та характеристик режимів проведення прискорених випробувань при фізичному моделюванні зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ швидкохідних дизелів.

2. Розробка структурної схеми випробувального моторного стенду з програмним керуванням режимами роботи двигуна та його систем за допомогою комп'ютера та мікропроцесорних засобів. Автоматизація накопичування та зберігання інформації, зворотного зв'язку, аналізу та контролю у ході випробувань.

3. Аналіз та систематизація чинників, що впливають на руйнування деталей КЗ в умовах експлуатації і вибір моделі руйнування та методики розрахункової оцінки накопичування пошкоджень в умовах прискорених випробувань деталей КЗ.

4. Розробка математичної моделі прогнозування зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ швидкохідних сучасних та перспективних дизелів, уточнення методики розрахункової оцінки накопичування пошкоджень.

5. Розробка метода розрахункової оцінки коефіцієнта прискорення випробувань деталей КЗ на втому та повзучість.

Наукова новизна результатів, що одержані. При розв'язанні задач, що поставлені, одержано такі нові наукові результати:

1. Запропоновано спосіб прискорення випробувань з визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ, що ґрунтується на змінненні динаміки росту (падіння) температури під час перехідних режимів (у момент накиду-скиду навантаження дизеля).

2. Запропоновано метод прискорених випробувань, що поєднує засіб підвищення жорсткості режиму роботи дизеля та числовий експеримент. Метод дозволяє прогнозувати зумовлену втомою та тривалу міцність деталей КЗ швидкохідних дизелів та коефіцієнт прискорення випробувань.

3. Запропоновано новий підхід до оцінки міцності деталей КЗ, що передбачає проведення одночасно з фізичним експериментом розрахунок поточного накопичення пошкоджень від втоми і повзучості після кожного циклу навантаження двигуна.

4. Розроблено метод розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ в умовах прискорених випробувань та методика розрахунку коефіцієнта прискорення випробувань на базі розрахунково-експериментальних даних фізичного моделювання руйнування деталей, що досліджуються. Уточнено методику розрахункової оцінки накопичування пошкоджень.

Практичну цінність мають:

1. Структурна схема стенду для проведення прискорених випробувань деталей камери згоряння ДВЗ, що забезпечує багатоканальне ($n \geq 4$) та дворівневе керування з виконанням головних функціональних вимог: автоматизації вимірів, програмного керування, накопичення, аналізу та зберігання отриманої інформації, оцінки технічного стану об'єкту випробувань, друкування результатів, візуального контролю.

2. Оригінальна схема автоматичного управління переходом з режиму «пуск» до режиму навантаження силового агрегату, а також пуском та зупинкою двигуна, що передбачає аварійну зупинку, гальванічу розв'язку силових електричних агрегатів та загальної схеми. Функціональна схема електронно-цифрового керування пуском та навантаженням двигуна.

3. Адаптований до прискорених випробувань алгоритм керування паливостачанням (частотою обертання колінчастого валу) двигуна.

4. Схема мультиплексорного керування каналами вимірів.

5. Методика проведення прискорених випробувань, що дозволяє відмовитися від періодичних контрольних разборок двигуна та підвищує достовірність результату.

6. Уточнення методики визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ, що враховує у розрахунковій оцінці накопичення пошкоджень, вплив: високочастотних температурних циклів; вигляду кривої, що апроксимує залежність від часу температури та напружень в зонах, що досліджуються за цикл навантаження; швидкість зміни температури під час перехідних режимів.

7. Результати аналізу впливу експлуатаційних режимів та їх сполучень на накопичування пошкоджень в деталях КЗ.

8. Залежності, що апроксимують зміну температури $T(t)$ та напружень $\sigma(t)$ в деталях КЗ на протязі циклу навантаження дизеля.

9. Оцінка впливу режимних чинників на зумовлену втомою та тривалу міцність деталей КЗ швидкохідних дизелів з урахуванням прийнятої схеми проведення прискорених випробувань.

10. Результати аналізу сучасних проблем автоматизації та комп'ютеризації випробувань, режимів та методів прискорення випробувань, що можуть бути використані в навчальному процесі підготовки студентів і в подальших наукових дослідженнях з проблем надійності перспективних ДВЗ.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в дослідницьких лабораторіях кафедри ДВЗ ХДПУ, в навчальному процесі при підготовці студентів за спеціальністю 7.090210–двигуни внутрішнього згоряння.

Особистий внесок здобувача. В процесі досліджень при виконанні роботи здобувач взяв участь:

- у підготовці та проведенні експерименту;
- у розробці методики розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ в умовах прискорених випробувань;
- у розробці методики проведення прискорених випробувань з визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ;
- у розробці методики та оцінці впливу режимних та конструктивних чинників на тривалу та термічну зумовлену втомою міцність поршнів швидкохідних дизелів з урахуванням прийнятої моделі експлуатації двигуна;
- у розробці пристрою керування постачанням повітря при фізичному моделюванні зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ на працюючому дизелі;
- у розробці методики визначення закидів та просядок термічних напружень в зоні кромки КЗ поршнів на перехідних експлуатаційних режимах роботи дизеля з використанням критерію Предводителя.

Особисто здобувачем:

- запропоновано спосіб прискорення випробувань з визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ, що ґрунтується на змінній динаміки росту (падіння) температури під час перехідних режимів (у момент накиду-скиду навантаження дизеля).
- запропонована структурна схема випробувального стенду для проведення моторних прискорених випробувань, зокрема схеми автоматизації та програмного управління пуском, зупинкою, навантаженням, вимірами, режимами роботи двигуна, паливо – та повітряпостачанням;
- проведена оцінка впливу на накопичення пошкоджень в деталях КЗ: високочастотних змін температури; швидкості зміни температури на перехідних режимах; вигляду кривих, що

аппроксують залежності температури та напружень від часу за цикл навантаження; сполучення режимів навантаження двигуна.

– запропоновано метод розрахункової оцінки поточного накопичення пошкоджень одночасно з фізичним експериментом після кожного цикла навантаження двигуна.

– розроблено методику розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ та порядок застосування її в умовах прискорених випробувань, а також методику розрахунку коефіцієнта прискорення випробувань та його прогнозування;

– запропоновано залежності, що аппроксують зміну температури $T(t)$ та напружень $\sigma(t)$ за цикл навантаження дизеля, виконано оцінку похибок аппроксимації та оцінку їх впливу на результати розрахунків.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи, викладені на III конгресі двигунобудівників України з участю іноземних фахівців: «Прогресс, технология, качество», Київ-Харків-Алушта-Рыбачий, 1998р., на науково-технічних конференціях: Харківського державного політехнічного університету 1995-98рр., Харківської державної академії залізничного транспорту 1995-98рр., а також на міжнародній науково-технічних конференції: «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», мм. Харків-Мішкольц-Магдебург, Україна-Угорщина-Німеччина, 1995-98рр.

Публікації. Результати дисертації опубліковано в сімох статтях в наукових збірках, чотирьох статтях в збірках наукових праць міжнародних конференцій, 4 збірках тез доповідей семінарів, конгресов, науково-технічних конференцій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку використаної літератури із 137 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 215 сторінок, у тому числі ілюстрацій 45, таблиць 9.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

Текст дисертаційної роботи містить основні результати проведеного дослідження. У вступі обґрунтовано актуальність теми, що розглядається, сформульовано основні задачі дослідження та шляхи їх вирішення.

Перший розділ присвячено розгляду особливостей та методів проведення прискорених випробувань при фізичному моделюванні втоми та тривалої міцності деталей КЗ дизелів. На стадії удосконалення та створення двигунів пряме фізичне моделювання – єдиний шлях отримання принципово нових фактів та закономірностей. Прямим та повним фізичне

моделювання є тільки за умов рівності одноіменних критеріїв, складених з умов однозначності систем, що моделюються. Виконання цих умов складає основну проблему при організації експериментальних досліджень фізичних процесів ДВЗ. Фізична модель руйнування деталей КЗ від втоми та повзучості в умовах прискорених випробувань будується на сприятливій основі (випробування проводяться на моторному стенді з розгорнутим двигуном) і цілком відповідає дотриманню умов подібності.

Базою для фізичного моделювання є автоматизація експериментальних досліджень (випробувань), обробка інформації, удосконалення способів та методів прискорення випробувань. На підставі проведеного аналізу методів і способів прискорення випробувань, експлуатаційних режимів і зовнішніх умов роботи двигуна обрано спосіб прискорення та розроблено метод проведення випробувань. Суть способу полягає в підвищенні жорсткості режиму роботи деталей КЗ за рахунок обмеження подачі повітря на режимі $N_{e \max}$ (накид навантаження) та додаткової його подачі на режимі холостого ходу (скид навантаження) за допомогою спеціального пристрою управління подачею повітря, що дозволяє збільшити розмах коливань температури та напружень. Обґрунтовано вибір характеристик циклів нестационарного навантаження деталей КЗ швидкохідних дизелів типу СМД в умовах прискорених випробувань.

За результатами експериментального дослідження дизеля СМД-17Н у серійній та дослідній (з пристроєм керування постачання повітря) комплектації отримані залежності теплового стану найбільш навантажених зон деталей, що досліджуються, від ступеня наддуву та агрегатної потужності двигуна; встановлено показники динаміки зростання (падіння) температури в характерних зонах деталей КЗ за період накиду-скиду навантаження як у графічному вигляді (рис. 1), так і у вигляді апроксимуючих залежностей. Для випробувань обрано КЗ типу ЦНДДІ як найбільш чутливу до зміни теплових навантажень.

Аналіз результатів експерименту підтвердив його дієвість і дозволив обрати для умов прискорених випробувань деталей КЗ на втому і повзучість значення максимальної та мінімальної температури, її розмах, швидкість зміни середньоциклової температури, термін її стабілізації, тривалість циклу нестационарних навантажень на перехідних режимах. В результаті реалізації методу прискорених випробувань максимальна температура в деталях КЗ, що досліджуються, на момент скиду навантаження зросла на $7...18^{\circ}\text{C}$ в порівнянні зі значеннями відповідних температур на серійному двигуні, а температура на режимі холостого ходу зменшилася на $1...7^{\circ}\text{C}$. Розмах температури, наприклад, у зоні кромки КЗ склав 196°C проти 173°C на серійному двигуні, тобто збільшився на 23°C (13.3%).

Оцінка похибок вимірів свідчить про цілком прийнятні метрологічні характеристики термометрії деталей КЗ: спільна середня квадратична похибка реєстрації температури знаходиться у межах від $\pm 0,56$ до $\pm 0,73^\circ\text{C}$.

Другий розділ присвячений розробці автоматизованого моторного стенду з програмним керуванням пуском, зупинкою, навантаженням, вимірами, режимами роботи двигуна, паливо- та повітряпостачанням для проведення прискорених випробувань.

В розділі викладено основні принципи побудови автоматизованих випробувальних систем двигунів внутрішнього згоряння та умови вибору виконавчих пристроїв автоматики; основні вимоги до якості перехідного процесу, зокрема, при регулюванні частоти обертання колінчастого валу. На підставі загальних принципів побудови автоматизованих систем, що забезпечують програмне керування режимами роботи двигуна, автоматизацію накопичення та зберігання інформації, зворотний зв'язок, аналіз та контроль у ході випробувань, пропонується структурна схема випробувального стенду (рис. 2).

Для керування стендом розроблено оригінальну систему управління з ЕОМ пуском та навантаженням двигуна, що передбачає гальванічну розв'язку силових агрегатів та схеми керування, у тому числі й аварійну зупинку. Безпосередній зв'язок з комп'ютером, передбачений структурною схемою, дозволяє здійснювати одночасне математичне та фізичне моделювання процесу накопичення пошкоджень в деталях КЗ двигуна. Програмне керування, що забезпечує цей зв'язок, дозволяє після кожного циклу навантаження двигуна у ході випробувань здійснювати контроль теплового та напруженодеформованого стану об'єкту, що досліджується, та ступеня накопичення пошкоджень в матеріалі, і, таким чином, відмовитися від періодичної разборки двигуна з метою контролю над накопиченням пошкоджень.

У розділі надано опис каналів керування повітря- та паливопостачанням, системи реєстрації сигналів з термопар, що дозволе керувати каналами вимірів термонапруженого стану деталей КЗ безпосередньо та в будь-якій послідовності, схеми цифрового управління напругою обмотки збудження силового агрегату.

Розділ 3 присвячено вибору моделі та методики розрахунку руйнування деталей КЗ швидкохідних дизелів за результатами прискорених випробувань. Аналіз основних методів прогнозування зумовленої втомою та тривалої міцності елементів ДВЗ показав виключний вплив на тривалу та циклічну міцність найбільш навантажених деталей КЗ (поршень, клапани, головка циліндра): напружень і деформацій, їх характеру та інтенсивності. Робота деталей дизеля в умовах мало- та багатоциклової втоми за наявності теплових та навантажених змінного напрямку призводить до розвитку в матеріалах конструкції процесів втоми й, найбільш

впливової, з огляду руйнування, повзучості. Процеси втоми й повзучості взаємопов'язані, а умови переходу від одного виду руйнування до іншого різні для різноманітних матеріалів і чіткої межі не мають. Таким чином, при виборі критерію руйнування деталей КЗ швидкохідного дизеля перевагу надано критерію, що базується на лінійному складанні пошкоджень від втоми та повзучості. При розгляді пластичних деформацій для визначення накопичення пошкоджень від повзучості прийнято енергетичний варіант теорії повзучості, що дозволяє поєднати задачу визначення напружено-деформованого стану з задачею визначення тривалої міцності.

Для розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ швидкохідних дизелів обрано сучасну методику, запропоновану А.Ф. Шеховцовим, що отримала подальший розвиток в дослідницьких роботах кафедри ДВЗ ХДПУ. Вона поєднує деформаційно-кінетичний та енергетичний критерії та дозволяє визначити рівень накопичення пошкоджень в деталях КЗ. В момент руйнування деталі виконується умова

$$\sum_j \left(\sum_k \frac{1}{N_{pk}} + \sum_k \frac{u_k}{U^*} \right) + \sum_q \frac{Z_q}{N_{qmi}} = 1, \quad (1)$$

де: $\sum_k \frac{1}{N_{pk}}$ – накопиченні пошкодження від втоми за k аперіодичних циклів

навантаження на j-му режимі обраної моделі експлуатації;

N_{pk} - кількість циклів до руйнування (появи тріщини) на j-му режимі;

$\sum_k \frac{u_k}{U^*}$ – накопиченні пошкодження від повзучості за k циклів навантаження;

u_k – енергія розсіювання на j-му режимі при k-му циклі навантаження;

U^* – критичне значення енергії розсіювання.

$\sum_q \frac{Z_q}{N_{qmi}}$ – накопиченні пошкодження від термомеханічних зумовлених втомою,

високочастотних періодичних навантажень.

Користуючись залежністю (1), можна прогнозувати дієздатність об'єкту, що досліджується, з урахуванням тривалості циклу навантаження та терміну роботи на різноманітних режимах. Для визначення складових виразу (1) використовувались апробовані у галузі розрахунків міцності методи. Для отримання числа циклів до руйнування від втоми використовується принцип Нейбера та рівняння Б. Поспішила.

Для визначення закидів та просядок напружень у характерних зонах деталей КЗ використовується методика визначення размахів напружень на основі критерію Предводителява.

Вибрана методика розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності добре адаптується до прискорених моторних випробувань при фізичному моделюванні руйнування деталей КЗ. Вона легко поєднується зі способом і методом проведення прискорених випробувань, враховує вплив особливостей перехідного процесу на час до руйнування деталей, що досліджуються. Врахування такого впливу дозволяє попередньо визначати доцільність конструктивних рішень, що стабілізують циклічну міцність матеріалу деталей КЗ. Крім того, використання такої методики дозволяє ще на стадії підготовки до випробувань прогнозувати коефіцієнт їх прискорення.

У четвертому розділі надається оцінка зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ швидкохідного дизеля СМД-17Н, форсованого до $N_n=16$ кВт/л при $n=2000$ хв⁻¹, на базі даних про термонапружений стан цих деталей, отриманих при експериментальному дослідженні (табл. 1). При отриманні такої оцінки розглядається два підходи. Перший полягає в безпосередній реєстрації температурних полів об'єкту, що досліджується, наступного розрахунку теплового і напружено-деформованого стану деталі та частки накопичених пошкоджень від термічної втоми та циклічної повзучості після кожного циклу навантаження у ході випробувань. Контроль стану об'єкту, що досліджується, здійснюється за розрахунковою величиною сумарних накопичених пошкоджень, і випробування припиняються при досягненні цієї величини значення, що дорівнює одиниці. Такі результати розрахунку терміну служби деталей КЗ дизеля мають менше похибок, бо отримані з використанням реальних значень температурних полів та виключають контрольну розборку двигуна.

Другий підхід, що спирається також на експериментальні дані про термонапружений стан деталей КЗ, що досліджуються, окрім оцінки зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ числовим методом, передбачає також визначення коефіцієнта прискорення випробувань. Передусім, вибирається найбільш напружена в тепловому відношенні зона, в даному випадку це зона кромки КЗ. Залежність зміни температури в часі за цикл навантаження в зонах, що досліджуються, аппроксимується експоненціальною залежністю.

$$\begin{aligned} \text{При накиді:} \quad T(t) &= T_{\min} + \Delta T (1 - e^{-t \cdot k_1}); \\ \text{При скиді:} \quad T(t) &= T_{\max} - \Delta T \cdot (1 - e^{-t \cdot k_2}), \end{aligned}$$

тут $k_1=k_2=200$ при прискорених випробуваннях;

$k_1 =184$, $k_2 =170$ на експлуатаційному режимі.

Напруження, що відповідають характеру зміни температури в кожний момент накиду-скиду навантаження, визначаються з використанням критерію Предводителя для розрахунку закидів і просадок напружень з наступною інтерполяцією кривої напружень сплайном 3-го порядку з завданням 27 вузлових точок за час циклу навантаження. Відповідно до обраної методики (розд. 3) розраховується число циклів до зумовленого втомною та пластичного руйнування деталей КЗ в умовах прискорених випробувань та в умовах найбільш жорсткого експлуатаційного режиму, що вибирається за схемою запропонованою автором, за даними експлуатації сільгоспмашин, обладнаних дизелем типу СМД (вибір визначається температурою та напруженнями в деталях КЗ).

Час до руйнування в умовах будь-якого експлуатаційного режиму ($j=1$) визначається з залежності

$$\tau_p = \frac{P}{\sum_j \left(\sum_k \frac{1}{N} + \sum_k \frac{u_k}{U^*} \right) + \sum_q \frac{Z_q}{N_{qmi}}}$$

В умовах прискорених випробувань, коли дійсні експлуатаційні режими роботи двигуна замінені одним експериментальним, що моделює більш жорсткий процес експлуатації, число циклів до руйнування фіксується при дотриманні умови (1), а час до руйнування визначається множенням тривалості одного циклу та загальної кількості циклів до руйнування. Коефіцієнт прискорення, розраховується як співвідношення часу до руйнування в умовах експлуатації та часу до руйнування в умовах прискорених випробувань. Для форсованого дизеля СМД-17Н ($N_{л}=16\text{кВт/л}$, $n=2000\text{хв}^{-1}$) він дорівнює 24.

Запропонована методика розрахунку зумовленої втомною та тривалої міцності деталей КЗ може бути використана також для прогнозування коефіцієнта прискорення випробувань при зміні швидкості зростання (падіння) температури. Так, наприклад, наочним є режим «термошоку» або потужного теплового удару, коли коефіцієнт прискорення випробувань дизеля СМД-17Н ($N_{л}=16\text{кВт/л}$, $n=2000\text{хв}^{-1}$) можна довести до 53 (рис. 3, табл. 2). За результатами числового експерименту автором пропонується спосіб прискорення випробувань та можливість прогнозування коефіцієнту прискорення випробувань на стадії їх підготовки.

Крім того, в розділі розглянуто вплив на оцінку накопичення пошкоджень в деталях КЗ високочастотних змін температури; швидкості зміни температури на перехідних режимах; вигляду кривих, що апроксимують залежності температури та напружень від часу за цикл навантаження; сполучення режимів навантаження двигуна та надано його наслідок.

ВИСНОВКИ

Проведене розрахунково-експериментальне дослідження дозволило отримати наступні основні результати:

1. Проведено аналіз проблеми, що досліджується і обгрунтована її актуальність.
2. Обгрунтовано спосіб та метод прискорення випробувань деталей камери згоряння, вибрані характеристики циклів нестационарних навантажень двигуна.
3. Запропоновано структурну схему моторного випробувального стенду, що має блок управління пуском та навантаженням, частотою обертання колінчастого валу, подачею повітря, а також блок реєстрації параметрів дизеля.
4. Обрано критерій руйнування деталей КЗ від втоми і повзучості та методику розрахунку зумовленої втомою та тривалої міцності цих деталей.
5. Запропоновано спосіб прискорення випробувань з визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ, що ґрунтується на змінній динаміки росту (падіння) температури під час перехідних режимів (у момент накиду-скиду навантаження дизеля) та дозволяє прогнозувати коефіцієнт прискорення випробувань на стадії підготовки. .
6. Запропоновано метод прискорених випробувань з визначення зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ, що передбачає створення більш жорстоких умов роботі двигуна та числовий експеримент.
7. Запропоновано новий підхід до розрахункової оцінки накопичення пошкоджень від втоми і повзучості, що передбачає розрахунок накопичення пошкоджень в деталях КЗ після кожного циклу навантаження впродовж фізичного експерименту, що позитивно впливає на достовірність результату та позбавляє необхідності періодичної контрольної розборки двигуна.
8. Розроблено методику прогнозування зумовленої втомою та тривалої міцності деталей КЗ в умовах прискорених випробувань та методику визначення коефіцієнта прискорення випробувань. Уточнено методику розрахункової оцінки накопичення пошкоджень у деталях КЗ.
9. Методика визначення коефіцієнта прискорення випробувань та його прогнозування використовується при виконанні НДР і в навчальному процесі кафедри ДВЗ ХДПУ по спеціальності «Двигуни внутрішнього згоряння».

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ

1. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Новый способ ускоренных испытаний деталей камеры сгорания дизелей на усталостную и длительную прочность// Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (Сборник научных трудов ХГПУ).—Харьков.—1998.—вып. 6.—С. 172-176.
2. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Автоматизация ускоренных испытаний дизелей// Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (материалы международной научно-технической конференции).—Харьков.—1996.—ч. 1.—С 37.
3. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Выбор и обоснование режимов ускоренных испытаний быстроходных дизелей// Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (труды международной научно-технической конференции).—Харьков.—1996.—ч. 3.—С 408-410.
4. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. «Комплекс программно-аппаратных средств для ускоренных испытаний ДВС»// Двигатели внутр.сгорания.—Харьков.—1997.— вып. 56-57.—С.180–183.
5. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Оценка накопленных повреждений в поршнях быстроходных форсированных дизелей// Двигатели внутр. сгорания.—Харьков.—1997.— вып. 56-57.—С.44–49.
6. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Определение забросов термоупругих напряжений в деталях камеры сгорания на переходных режимах работы быстроходных дизелей на основе критерия Предводителя// Механіка та машинобудування.—1997.—№ 1.—С. 103-107.
7. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Основные положения принятого метода ускоренных испытаний деталей камеры сгорания и определение коэффициента ускорения: Труды III конгресса двигателестроителей Украины с иностранным участием "Прогресс, технология, качество" / Киев - Харьков - Алушта - Рыбачье. - 1998. - С.463-465.
8. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Тепловое состояние деталей камеры сгорания быстроходного дизеля при нестационарных нагружениях// Двигатели внутр. сгорания.— Харьков.—1998.— вып. 59.—С.110–115.
9. Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Левтеров А.А. Способ ускоренных испытаний деталей камеры сгорания дизелей на усталостную и длительную прочность// Двигатели внутр. сгорания.—Харьков.—1998.— вып. 59.—С.92–99.

10. Левтеров А.А. Оценка усталостной и длительной прочности деталей КС быстроходных дизелей при ускоренных испытаниях // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье (материалы международной научно-технической конференции).—Харьков.—1999.—ч.—С.

11. Левтеров А.А. Влияние характера изменения температуры на расчётную оценку накопления повреждений от усталости и ползучести в деталях камеры сгорания быстроходного дизеля // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Сборник научных трудов. Вып.60.—Харьков, 1999.— С. 107–109.

АНОТАЦІЇ

Левтеров О.А. Фізичне моделювання експлуатаційної зумовленої втомою та тривалої міцності деталей камери згоряння швидкохідних дизелів.—Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.04.02 – теплові двигуни.— Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 1999.

Дисертація присвячена фізичному моделюванню руйнування деталей камери згоряння швидкохідних дизелів. Обрано спосіб та запропоновано методику проведення прискорених випробувань, характеристики циклів навантаження, розроблено схему випробувального стенду, вибрано методику розрахунку руйнування. Це дозволяє провести випробування деталей камери згоряння з коефіцієнтом прискорення 24 на автоматизованому моторному стенді з програмним керуванням відповідно до методу та способу випробувань, і за їх результатами провести оцінку часу до руйнування деталей, що досліджуються.

Ключові слова: фізичне моделювання, двигун, автоматизація, прискорені випробування, деталі камери згоряння, керування, коефіцієнт прискорення, теплонанавантаженість, зумовлена втомою та тривала міцність.

Левтеров А.А. Физическое моделирование эксплуатационной усталостной и длительной прочности деталей камер сгорания быстроходных дизелей.—Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – тепловые двигатели.— Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 1999.

Диссертация посвящена физическому моделированию разрушения деталей камеры сгорания быстроходных дизелей. Выбран способ и предложена методика проведения ускоренных испытаний, характеристики циклов нагружения, разработана схема испытательного стенда, выбрана методика расчета разрушения. Это позволило провести испытания деталей камеры сгорания с коэффициентом ускорения 24 на автоматизированном моторном стенде с программным управлением. По результатам численного эксперимента произведена оценка времени до разрушения исследуемых деталей при способе ускорения испытаний, основанном на изменении скорости роста (падения) температуры на переходных режимах, и прогнозируемый коэффициент ускорения при этом составил 53.

Ключевые слова: физическое моделирование, двигатель, автоматизация, ускоренные испытания, детали камеры сгорания, управление, коэффициент ускорения, теплонапряженность, усталостная и длительная прочность.

Levterov A.A. Physical simulation operational fatigue and long strength of details of chambers of combustion high-speed дизелей.-manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.04.02 - heat engines.- the Kharkiv state academy of railway transport, Kharkiv, 1999. The thesis is devoted to physical simulation fatigue of destruction of details of the chamber of combustion of high-speed diesel engines. The definition of real parameters of reliability of a modern engine is possible for want of realizations of its tests with an operating time 8000 ... 9000 motor-hours (3 ... 5 years). In this connection the physical simulation of real accumulation of damages acquires the large significance. In a combination to maximum automation of tests and effective methods of their acceleration the physical simulation усталостного of destruction of details of details of the chamber of combustion is a real basis of reduction of terms and decrease of the costs for want of creation and perfecting of a engine. According to a direction of research on the basis of the deep systems analysis, conducted on the scientific publications, a number of problems sequentially is decided. First, the modern effective method of acceleration of tests and scheme of their holding is selected. The essence of a method consists in hard of power setting of engine's. The realization of a method is carried out with the help of the special control unit submission of air, and allows to increase a range of temperature and tension in investigated details. The choice of performances of a cycles non-stationary loading of details of the chamber of combustion in conditions of accelerated tests is based to datas of operation of diesel engines of a type СМД. The main principles of physical simulation are observed. The condition of a uniqueness is ensured naturalies of model at the expense of holding tests on the motor stand with the real developed engine, and condition of a dynamic (force) similarity - at the expense of a maximum approximation of the simulating laws нагружения of details of the chamber of combustion to operational non-stationary of load. By results of an experimental research of a diesel engine СМД-17Н in a serial and experienced complete set are obtained of dependence of a thermal condition thermomeasurements of the most loaded zones of investigated details of the chamber of combustion from a degree of pressurization and modular power of a engine; the parameters of dynamic of growth (falling) of temperature in characteristic zones of details of the chamber of combustion for period of load-unload of a load both in a graphic kind, and as approximating dependences are established. The analysis of results of experiment has confirmed its complete conformity accepted for physical simulation of operational fatigue of details of the chamber of combustion to a method of holding of accelerated tests and complex of accompanying measures. It has allowed to select for conditions of accelerated tests of details КС on fatigue of performance of the thermal and tension-deformed condition of these details, namely: Significances of maximum and minimum temperature, her range, speed middle-cycle of temperature, time of her stabilization, duration of a cycle non-stationary loading on transition modes. For acceleration of tests, the maximum automation of test process is necessary on the basis of modern reachings electronic and electronic-computer facilities. On the basis of general principles of construction of the automized systems ensuring program management by power setting, automation of accumulation and storage of the information, feedback, analysis and the monitoring during tests, is offered the block diagram of the test bed. For management of the stand the original system of a numerical control immediately from the COMPUTER by start-up and load (balancer by machine) engine providing a galvanic outcome of force aggregates and the circuit of management, powering up and emergency stoping is developed. The direct communication with the computer, foreseen block diagram, allows to realize simultaneous mathematical and physical simulation of process of accumulation of damages in details of the chamber of combustion of a engine. The program management ensuring this communication(connection), allows after each cycle loading of a engine during tests to realize monitoring the thermal and tension-deformed condition of investigated object and degrees of accumulation of damages in a material. For account fatigue and long strenght the modern technique is selected. it combines both strain-kinetic, and power criteria for want of registration of accumulation of damages in details of a engine. Using this technique, it is possible to forecast serviceability of

investigated object with allowance for of duration of a cycle loading and operating time on different modes. Having the above-stated set of means for holding accelerated tests and technique of account fatigue and long strength of investigated details, it is possible to conduct valuation fatigue and long strenght of details of the chamber of combustion of a high-speed diesel engine of a type CMД by results of the accelerated motor tests. Two approaches to such valuation are considered: or immediately during tests, or numerical method on the basis of a computing-experimental data about a heat-stressed condition of investigated object. Besides the technique of numerical experiment assumes determination of factor of acceleration fatigue of tests and its forecasting for want of possible mode loading of details of a diesel engine. The sequential fulfilment of problems thesis of research has allowed to conduct accelerated fatigue of test of details of the chamber of combustion of a high-speed diesel engine with factor of acceleration 27 on the automized motor stand with program management according to a selected method and method of acceleration of tests. And to make valuation of time before destruction of these details, using mathematical model of account fatigue and long strenght on the basis of modern software and with use of the COMPUTER of the last generation. Forecast factor of acceleration for a diesel engine CMД-17H can is in limits from 24 up to 53.

Key words: physical simulation, diesel engine, automation, accelerated tests, details of the chamber of combustion, management, factor of acceleration, thermal stress, fatigue and long strenght.