

USE OF IIoT TECHNOLOGIES IN ENGINE MONITORING AND CONTROL SYSTEMS

O.U. Linkov, O.S. Shevchenko

Determining the operating parameters of engine systems is very important to ensure its long-term reliability. Modern power plants use a large number of modern electronic components (sensors, controllers, etc.). All systems generate a huge volume of data that must be tracked, processed and analyzed, which in turn creates calls to gateways and servers. However, the current state of development of microcontrollers and their power allow the use of fog computing, which can lead to more efficient use of both the power plant and data transmission systems. Also, the use of modern microcontrollers and fog computing allows modernizing old power plants with minimal effort and creating new information nodes for monitoring the state of nodes and engine systems and easily combining them with systems already existing on the engine. The selection of a microcontroller and justification of its type for the modernization of the fuel system of a diesel engine are considered. Rapid processes occur in the high-pressure fuel system of diesel engines, which can be determined by changes in fuel pressure. For detailed measurement of processes in the fuel system, measurements should be made with a frequency of at least 24 kHz, i.e.: if the crankshaft rotation frequency is 4000 min⁻¹, then 24,000 measurements should be made every second (when registering data after 1 degree of crankshaft rotation). Another indicator that imposes its requirements is the bit rate of the analog-to-digital converter (ADC), which depends on the range of recorded values. For example, an ADC with a resolution of 8 bits is capable of outputting 256 discrete values (0...255). That is, the higher the bit rate, the more sensitive the converter is to signal changes, and 8 bits may not be enough. Thus, even a small number of sensors can generate a huge amount of data. Transmitting large amounts of data is irrational and can lead to data loss and "clogging" of transmission channels, which challenges the computational performance of the microprocessor.

Keywords: internal combustion engine; measurement; monitoring; industrial internet of things; reliability parameters; predictive maintenance

УДК 621.435

DOI: 10.20998/0419-8719.2024.2.07

О. В. Триньов, Д. Г. Сівих, А. М. Сергієнко

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВИТРАТ ДВИГУНА
В СИСТЕМІ ЗМАЩЕННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ

Представлені результати проміжного етапу дослідження процесів теплообміну в швидкохідних дизелях автотракторного типу на перехідних режимах скидання-накиду навантажень, які є характерними для дизелів цього типу. На таких режимах спостерігаються, як засвідчують результати розрахунків теплонапруженого стану деталей, що формують об'єм камери згоряння, зокрема поршнів, випускних клапанів газорозподільного механізму, значні закиди розтягувальних і стискаючих напружень у порівнянні з роботою на усталених режимах.

Саме це є причиною виникнення дефектів у вигляді тріщин на теплообмінних поверхнях зазначених деталей, обмежує моторесурс двигунів автотракторного типу. Для більш детального вивчення перехідних процесів, як основний підхід, пропонується використання загальновідомої методики теплобалансних випробувань швидкохідного дизеля, але з залученням засобів автоматизованої обробки результатів вимірювань в цифровій формі на усталених і перехідних режимах. Основну увагу пропонується зосередити на витратах теплоти – складові теплового балансу в системі змащення та охолодження. Без використання автоматизованої обробки інформації безпосередньо в моменти протікання перехідних режимів скидання-накиду навантаження отримання такої інформації по системам охолодження і змащення є неможливим. Запис перехідних теплообмінних процесів дає можливість відслідковувати вплив режимних параметрів двигуна, динаміки перехідного процесу в залежності від його тривалості, початкового і кінцевого усталеного режимів, між якими досліджується перехід. В цілому, таким чином, можна оцінювати пристосованість систем охолодження та змащення до відведення теплоти при різких змінах навантаження, уникати, або ж хоча б обмежувати зростання термічних напружень. В публікації наведено можливий варіант схемного рішення такої системи автоматизованої обробки результатів теплобалансних випробувань з максимальним залученням обладнання, яке випускається серійно і вже використовувалося раніше при проведенні теплобалансних випробувань.

Ключові слова: автотракторний дизель; теплобалансні випробування; автоматизація обробки інформації на усталених і перехідних режимах

Вступ

Сучасні методи розрахунку теплонапруженого стану (ТНС) деталей камери згоряння ДВЗ передбачають, як обов'язкову умову, уточнення математичних моделей, граничних умов задач теплопровідності та механіки шляхом проведення моторних та безмоторних експериментів. Експеримент дозволяє змодельовати розрахунковій математичній моделі дійсний або ж близький до дійсного розподіл теплових потоків в камері згоряння і по двигуну в цілому,

зокрема, в системі змащення та охолодження. Для дизелів автотракторного типу, як відомо, такі потоки відрізняються значною щільністю, нерівномірністю. Для дизелів цього типу для визначення критичних напружень, прогнозування моторесурсу деталей камери згоряння (КЗ) обов'язковим є врахування як усталених форсованих режимів, так і перехідних режимів скидання-накиду навантажень, на які припадає значний відсоток в моделі експлуатації. Тепло-

обмінні процеси, які протікають в об'ємі надпоршневої порожнини, прийнято оцінювати за внутрішнім тепловим балансом, який складається для визначення температури відпрацьованих газів, втрат теплоти з відпрацьованими газами. При цьому внутрішній тепловий баланс, пов'язаний з зовнішнім балансом, який складається по зовнішньому контуру двигуна і, крім витрат теплоти з відпрацьованими газами, враховує також витрати в системі змащення і охолодження. На останні припадає до 25-30 % в зовнішньому тепловому балансі, інтенсифікація відведення теплоти в системі змащення і охолодження розглядається як основний засіб регулювання теплового стану деталей КЗ форсованих ДВЗ.

Якість охолодження двигуна, його достатність-недостатність, зайве переохолодження можна кількісно оцінити шляхом проведення моторного експерименту і відносно нескладних розрахунків. Такі методики загальновідомі і знаходять практичне використання для оцінки енергетичних витрат в системі змащення та охолодження на усталених режимах роботи двигуна, зокрема результати отримані на найбільш теплонапружених режимах слугують вихідними даними для розрахунку систем змащення та охолодження, в той же час авторам невідомі результати з визначення динаміки зміни таких витрат на перехідних режимах, які в загальному випадку для дизельних двигунів автотракторного типу можуть супроводжуватися як значним зростанням навантаження, так і частоти обертання колінчастого валу.

В запланованому дослідженні пропонується проведення аналізу змін теплових потоків (витрат) в системі змащення і охолодження на перехідних режимах скидання-накиду навантаження. Вирішення поставленої задачі можливе шляхом розробки і застосування в ході моторного експерименту автоматизованої системи запису і обробки в цифровій формі параметрів теплових потоків: температур охолоджувальної рідини і мастила на вході і на виході з двигуна, витрат зазначених теплоносіїв на перехідних режимах.

Аналіз публікацій

Особливості протікання теплообмінних процесів в КЗ двигунів різних типів, їхній вплив індикаторні, ефективні показники, механічні витрати, пов'язані з роботою агрегатів систем змащення і охолодження, складових теплового балансу, методики їх визначення і детально розглядаються в роботі [1]. Проаналізована фізична сутність окремих складових як внутрішнього, так і зовнішнього теплових балансів, вплив режимних параметрів, параметрів робочого процесу на складові теплового балансу, також наведені експериментальні теплові баланси

(прикладі), аналізуються умови роботи дизелів різного призначення, в тому числі автотракторних дизелів.

Відзначається, як в роботі [1], так і в інших, значний вплив на показники економічності, надійності перехідних режимів. Перехідний режим, як відомо, можна розглядати як певну динамічну характеристику двигуна – послідовність в часі сукупності неусталених режимів зі зміною параметрів циклу. Як найбільш характерні для автотракторних дизелів виділяють наступні перехідні режими. По-перше, це режими, пов'язані зі зміною циклової подачі палива за рахунок переміщення елемента, який регулює цю подачу. Основним параметром в даному випадку є відносна зміна циклової подачі в межах певного часового проміжку. По-друге, це режими, які виникають внаслідок зміни навантаження, крутного моменту опору, оцінюються кількісно за відносною зміною моменту опору, оцінюються кількісно за відносною зміною моменту опору. Для другого типу режимів можна виділити дві основні групи, які визначаються:

1) незмінністю циклової подачі, положення пристрою регулювання паливної подачі і зміною циклової подачі у відповідності до швидкісної характеристики – робота двигуна за швидкісною характеристикою;

2) незмінністю частоти обертання двигуна, зміною навантажень і відповідно зміною циклової подачі – робота двигуна за навантажувальною характеристикою.

Для першої групи режимів гальмування здійснюється за рахунок збільшення моменту опору, прискорення – за рахунок зменшення цього моменту. Для другої групи режимів накид навантаження реалізується за рахунок одночасного збільшення навантаження (моменту опору) і циклової подачі. Скиданню навантаження відповідає одночасне зменшення моменту опору і циклової подачі. Для автотракторних дизелів, особливо сільськогосподарського призначення, значну роль відіграють так звані комбіновані режими, які представляють собою сукупність двох процесів – накиду навантаження і гальмування. Комбінований процес відрізняється від накиду навантаження більшим діапазоном зміни частоти обертання колінчастого валу з більшими прискореннями, що в свою чергу впливає на параметри робочого процесу. Численні приклади з практики експлуатації двигунів автотракторного типу засвідчують значну роль перехідних режимів скидання-накиду навантаження в умовах експлуатації, необхідність детального аналізу таких режимів.

В монографії [2] запропонована математична модель процесу тепловіддачі в охолоджуючу рідину

в умовах однофазності і двофазності, які залежать від температури охолоджуючої рідини, зокрема температури її закипання при 100 °С. Модель враховує такі параметри як вібрація стінок циліндрової гільзи, головки циліндрів, швидкість руху охолоджуючої рідини, інтенсивність пароутворення на поверхні стінок. Для визначення місцевих (локальних) коефіцієнтів тепловіддачі і уточнення математичної моделі в дослідженні [2] проведено спеціальний експеримент на дизелі 4ЧН12/14. В даному випадку дизель виконував функції натурального теплопередавача на стенду для визначення локальних значень коефіцієнтів теплопередачі на поверхні гільзи, головки циліндрів в залежності від режимних параметрів: витрат охолоджуючої рідини, швидкості рідини та її температури. Дизель має розділені теплові потоки по блоку і головці циліндрів, що дозволяло розрахувати окремі теплові баланси по цим деталям, автономний привід водяної помпи.

Для визначення середніх за теплопередачею температур охолоджуваних поверхонь було встановлено 22 термопари на циліндровій гільзі і 18 – на головці циліндрів. В цьому експерименті також було застосовано оригінальний комутаційно-інтегруючий пристрій, який забезпечував заміри температур в автоматичному режимі. Моторний експеримент було проведено по навантажувальній характеристиці ($n=1700 \text{ хв}^{-1}$), експеримент підтвердив коректність фізичної моделі тепловіддачі в охолоджуючу рідину [2].

Грунтовний теоретичний аналіз основних підходів до організації моторних випробувань з комп'ютерним управлінням проходженням знаходимо в роботі [3]. В публікації сформульовано основні вимоги щодо визначення стандартних (усталених) і нестандартних параметрів дизелів. Серед сучасних тенденцій в розвитку вимірювальної техніки для випробування ДВЗ відзначаються наступні. По-перше, вимірювальні схеми включають автоматичні пристрої для обробки експериментальної інформації, її перетворення і використання в режимі зворотного зв'язку для керування проходження експериментів. По-друге, використання механічного, теплового, оптичного принципів дії переміщується в пристрої, вузли первинних перетворювачів (датчиків) та апаратно-програмних засобів. Переважаючою є цифрова обробка сигналів від датчиків, застосування програмованих інформаційних систем універсального застосування. На один часовий крок (запит) в ході випробування може припадати до 100 і більше вимірювань. Тривалість такого запиту обмежена необхідністю отримання всього масиву дослідних даних та їх обробки в режимі моторного експерименту і не перевищує зазвичай декількох хвилин. Таким чином,

важливою умовою щодо організації випробувань сучасних дизелів є створення та широке використання автоматизованих вимірювальних засобів, систем з високою швидкістю [3].

В монографії [3] наведені результати розрахунково-експериментальних досліджень ТНС на перехідних режимах скидання-накиду навантажень для випускних клапанів дизеля 4ЧН12/14.

Зокрема, з використанням уточненої математичної моделі нестационарного ТНС була поставлена і розв'язана задача теплопровідності і термонапруженості для перехідних режимів накиду навантаження $n=800 \text{ хв}^{-1} \rightarrow Ne = 73,6 \text{ кВт}$, $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$, визначено суттєві закиди колових напружень, зокрема на крайці тарілки клапана. Так при рівні стискаючих колових напружень на усталеному режимі $\sigma = -29,2 \text{ МПа}$ приблизно на 20-ій секунді від початку перехідного процесу спостерігається різке збільшення їх до $-156,1 \text{ МПа}$ (закид 120 МПа). Закиди напружень також мають місце для точок в центральній та середній частині тарілки клапана. Наведений приклад підтверджує актуальність дослідження ТНС деталей КЗ на перехідних режимах та більш детальний їх аналіз в ході експериментальних випробувань ДВЗ.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є удосконалення методики випробувань теплових витрат двигуна в системи змащення та охолодження як на усталених, так і на перехідних режимах скидання-накиду навантажень, обробка інформації в автоматизованому режимі.

На даному етапі дослідження ставилися і були вирішені наступні задачі:

- розробка схеми випробувального комплексу, вибір основних елементів;
- розробка програмного забезпечення для автоматизації вимірювань.

Основні результати проведеного етапу дослідження

Об'єктом дослідження було обрано швидкохідний дизель 6ЧН13/11,5, на якому проводяться теплобалансні випробування за навчальною програмою для студентів кафедри ДтаГЕУ НТУ «ХПІ». Моторний стенд укомплектовано необхідними датчиками для вимірювання температури охолоджуючої рідини і моторного мастила, відповідними витратомірами.

При виконанні дослідження були використані методичні рекомендації [4] для проведення лабораторної роботи з визначення складових теплового балансу дизеля 6ЧН13/11,5. Згідно методичних вказівок [4], для визначення витрат теплоти згоряння палива в систему охолодження використовується залежність:

$$Q_B = G_B \cdot C_B \cdot \Delta T_B \quad (1)$$

де G_B – витрати охолоджуючої рідини, кг/год

$$G_B = F_B \cdot \rho_B \cdot 4,32 \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

де F_B – показання витратоміра охолоджуючої рідини;

ρ_B – густина охолоджуючої рідини, кг/м³.

Для врахування залежності густини від температури в методичних рекомендаціях [4] пропонується формула:

$$\rho_B = 1004,11 - 18,405 \cdot \left(\frac{t_B}{100}\right) - 27,619 \cdot \left(\frac{t_B}{100}\right)^2 \quad (3)$$

де t_B – температура води (охолоджуючої рідини) на вході в двигун, °С.

В рівнянні (1) $C_B = 4,19$ кДж/(кг·К) – масова теплоємність води, ΔT_B – перепад температур на вході в двигун і на виході з двигуна.

Витрати теплоти в систему змащення визначалися за рівнянням:

$$Q_M = G_M \cdot C_M \cdot \Delta T_M \quad (4)$$

де G_M – витрати мастила, кг/год

$$G_M = F_M \cdot \rho_M \cdot 1,8 \cdot 10^{-2} \quad (5)$$

де F_M – показання лічильника;

ρ_M – густина мастила, кг/м³, залежність від температури враховується за формулою [4]:

$$\rho_M = 903,6 - 56,6 \cdot \left(\frac{t_M}{100}\right) \quad (6)$$

де t_M – температура мастила на вході в двигун, °С.

В рівнянні (4) $C_M = 2,095$ кДж/(кг·К) – теплоємність мастила, ΔT_M – перепад температур на вході в двигун і на виході з двигуна.

Стенд також містить інше обладнання для контролю режимних параметрів.

Випробування проводиться за навантажувальною характеристикою на усталених режимах. Моделюються перехідні режими скидання-накидання навантаження.

Для реалізації автоматизованих вимірювань теплових витрат двигуна в системі змащення та охолодження треба реалізувати систему за структурою, наведеною на рис. 1. ARM Cortex M-3 мікропроцесор STM32F103C8T6 має достатні для збору даних функціонал та швидкість.

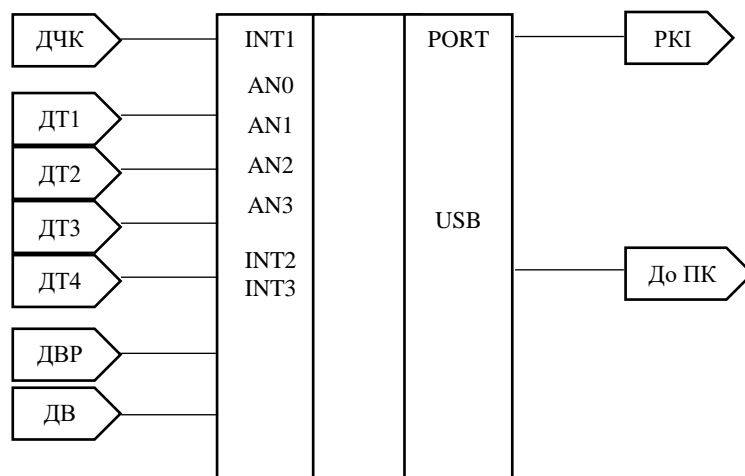


Рис.1. Структурна схема системи автоматизованих вимірювань теплових витрат двигуна: ДЧКВ – датчик частоти колінчастого валу; ДТ – датчик температури; ДВРО – датчик витрати рідини охолодження; ДВМ – датчик витрати мастила; INT – входи мікропроцесора для визначення частоти сигналу; AN – входи для аналого-цифрового перетворення сигналів; PORT – лінії обміну даними з рідкокристалічним індикатором (ПКІ); USB – порт обміну даними з персональним комп'ютером (ПК)

Основні характеристики STM32F103C8T6 [5]:

- Частота – до 72 МГц.
- Мікрочіп – 32-бітний Cortex M3 STM32F103C8 (1,25 DMIPS/MHz).
- Апаратне ділення та множення в один цикл.
- 7 таймерів, до 9 інтерфейсів комунікації (I2C, SPI, UART, USB, CAN).
- Програмна пам'ять – 64 Кб.
- Оперативна пам'ять – 20 Кб.
- Живлення логіки – 2...3,3 В.

- micro-USB порт.

Для визначення частоти обертання колінчастого валу використовують індукційний датчик, у якому генерується змінна е.р.с. від модуляції магнітного поля датчика спеціальним магнітопровідним синхродиском. Після обробки сигналу спеціальною схемою детектування, на виході з неї отримують прямокутні імпульси, сформовані від кожної реперної точки синхродиску. Частота прямокутних імпульсів пов'язана з частотою обертання колінчастого

валу пропорційно відношенню до кількості реперних позначок на диску, і програмно обчислюється мікропроцесором при подаванні обробленого сигналу на вхід INT1. Аналогічним способом обчислюється частота з витратомірів рідини охолодження (ДВРО) та масла (ДВМ), які працюють за ротаційним принципом, а частота їх обертання залежить від швидкості протікання рідин крізь такий датчик. При визначеній пропускнувості датчика, частота обертання дає інформацію про кількість рідини, що пройшла крізь датчик. Для решти показників, що використовуються в розрахунках, слід вимірювати температури рідини охолодження на вході у теплообмінник (ДТ1) та на виході з нього (ДТ2), і, відповідно для масла ДТ3 та ДТ4. Типи таких датчиків температури – напівпровідникові. Сигнал обробляється відповідними схемами узгодження та подається на входи аналого-цифрового перетворювача. Задля контролю режиму роботи системи вимірювань та відображення повідомлень, в системі використовується рідкокристалічний символічний індикатор. Вся поточна інформація вимірювань передається до персонального комп'ютера через порт USB. Через нього у програмі для збору, обробки та відображення можлива зміна налаштувань системи для роботи.

Планується в подальшому на основі отриманих результатів теплорозрахункових випробувань на перехідних режимах скидання-накиду навантаження розробити конструктивні заходи для поліпшення тепловідведення в системі змащення та охолодження на цих режимах. Як варіант таких заходів може розглядатися використання локального повітряного охолодження найбільш теплонапружених деталей ДВЗ (клапанний вузол, вальниця турбокомпресора та інші) в автоматизованому керуванні процесами охолодження. Ефективність такого рішення підтверджена при проведенні моторних та безмоторних випробувань. Відповідні результати наведені, наприклад, в публікаціях [6-8].

Висновки

Підтверджено актуальність розгляду складових теплового балансу дизеля автотракторного типу на перехідних режимах скидання-накиду навантажень. Реалізація поставленої задачі на зазначених режимах можлива лише з використанням обробки вихідних параметрів в цифровій формі. Розглянуто можливість такої обробки для аналізу теплових потоків в системі змащення та охолодження. Розроблена структура мікропроцесорної системи обробки даних, за допомогою якої передбачається проведення моторного експерименту.

Список літератури:

1. Двигуни внутрішнього згорання. Теорія : підручник / В. Г. Дяченко; За ред. А. П. Марченка. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – 488 с. 2. Процеси в перспективних дизелях / під ред. А. Ф. Шеховцова. – Х.: вид-во «Основа», 1992. – 352 с. 3. Триньов О. В. Наукові основи локального охолодження теплонапружених деталей ДВЗ: монографія / О. В. Триньов. – Х.: вид-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2014. – 240 с. 4. Методичні вказівки для лабораторної роботи «Тепловий баланс дизеля з системою газотурбінного наддуву з дисципліни «Теорія двигунів внутрішнього згорання» бакалаврського рівня освіти / Упоряд. В. Т. Коваленко, А. П. Марченко, М. К. Шокотов. – Харків: ХДПУ, 1998. – 19 с. 5. STMicroelectronics [STM32F103C8T6 Datasheet. octopart.com](https://octopart.com/datasheet/stm32f103c8t6). URL: <https://octopart.com/datasheet/stm32f103c8t6-stmicroelectronics-41858015>. 6. Триньов О.В. Моделювання роботи автоматизованої системи локального багатоконтурного охолодження деталей автотракторного дизеля / О.В. Триньов, Д.Г. Сівих // Двигуни внутрішнього згорання. –2021. – №1. – С. 66-74. 7. Триньов О.В. Розробка заходів з підвищення надійності підшипникового вузла турбокомпресора автотракторного дизеля / О.В. Триньов, Д.Г. Сівих // Двигуни внутрішнього згорання. –2022. – №1. – С. 12-21. 8. Триньов О. В. Обґрунтування складу пневматичної системи для локального багатоконтурного охолодження деталей автотракторного дизеля / О. В. Триньов, Д. Г. Сівих // Двигуни внутрішнього згорання. – 2023. – №2. – С. 13-19.

Bibliography (transliterated):

1. V. H. Diachenko (2008), *Internal combustion engines. Theory [Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia. Teoriia]*, Kharkiv, NTU «KhPI», 488 p. 2. Shekhovtsov A. F. (1992), *Processes in advanced diesel engines [Protsesi v perspektivnykh dyzeliakh]*, Kharkiv, «Osnova», 352 p. 3. Trynov O. V. *Scientific bases of local cooling of heat-stressed parts of internal combustion engines [«Naukovi osnovy lokalnoho okholodzhennia teponapruzhenykh detalei DVZ»]*, Kharkiv, «Pidruchnyk NTU «KhPI», 240 p. 4. V. T. Kovalenko, A. P. Marchenko, M. K. Shokotov (1998) *Methodical instructions for the laboratory work "Heat balance of a diesel engine with a gas turbine supercharging system in the discipline "Theory of internal combustion engines" of the bachelor's level of education [«Metodychni vkazivky dlia laboratornoi roboty «Teplovyi balans dyzelia z systemoiu hazoturbinnoho nadduvu z dystsypliny «Teoriia dvyhunyv vnutrishnoho zghoriannia» bakalavrskoho rivnia osvity»]*, Kharkiv, KhDPU, 19 p. 5. STMicroelectronics [STM32F103C8T6 Datasheet. octopart.com](https://octopart.com/datasheet/stm32f103c8t6). URL: <https://octopart.com/datasheet/stm32f103c8t6-stmicroelectronics-41858015>. 6. Trynov, O.V., Sivykh, D.H. (2021), *Simulation of the operation of the automated system of local multi-circuit cooling of auto-tractor diesel parts [«Modeliuvannia roboty avtomatyzovanoi systemy lokalnoho bahatokonturnoho okholodzhennia detalei avtotraktornoho dyzelia»]*, *Internal combustion engines*, №1, P. 66-74. <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2021.1.09>. 7. Trynov, O.V., Sivykh, D.H. (2022), *Development of measures to increase the reliability of the bearing unit of the turbo-compressor of an auto-tractor diesel engine [«Rozrobka zakhodiv z pidvyshchennia nadiinosti pidshypnykovoho vuzla turbokompresora avtotraktornoho dyzelia»]*, *Internal combustion engines*, №1, P. 12-21. <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2022.1.02%20>. 8. Trynov, O.V., Sivykh, D.H. (2023), *Justification of the composition of the pneumatic system for local multi-circuit cooling of auto tractor diesel parts [«Obgruntuvannia skladu pnevmatichnoi systemy dlia lokalnoho bahatokonturnoho okholodzhennia detalei avtotraktornoho dyzelia»]*, *Internal combustion engines*, №2, P. 13-19. <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2023.2.02>.

Надійшла до редакції 20.06.2024 р.

Триньов Олександр Володимирович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-0344-8332>, e-mail: trinaleksandr427@gmail.com.

Сівих Дмитро Георгійович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин ім. О. О. Морозова Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-8585-734X>, e-mail: sivikh1979@gmail.com.

Сергієнко Антон Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри електричного транспорту та тепловозобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-6067-1672>, e-mail: sergienko2707@gmail.com

AUTOMATION OF MEASUREMENTS OF ENGINE HEAT CONSUMPTION IN THE LUBRICATION AND COOLING SYSTEMS

O. V. Trynov, D. G. Sivykh, A. M. Sergienko

The paper presents the results of an intermediate stage of the study of heat transfer processes in high-speed diesel engines of the automotive tractor type at transient load discharge-load-injection modes, which are characteristic of this type of diesel engines. In such modes, as evidenced by the results of calculations of the thermal stress state of combustion chamber parts, in particular pistons, exhaust valves of the gas distribution mechanism, significant tensile and compressive stresses are observed compared to operation at steady-state conditions.

This is the reason for the occurrence of defects in the form of cracks on the heat exchange surfaces of these parts, which limits the service life of automotive tractor engines. For a more detailed study of transient processes, as the main approach, it is proposed to use the well-known method of heat balance tests of a high-speed diesel engine, but with the involvement of automated processing of measurement results in digital form at steady-state and transient modes. It is proposed to focus on heat consumption, which is a component of the heat balance in the lubrication and cooling system. Without the use of automated information processing directly at the time of transient load shedding and load shedding, it is impossible to obtain such information on cooling and lubrication systems. Recording of transient heat transfer processes makes it possible to track the influence of engine operating parameters, the dynamics of the transient process depending on its duration, the initial and final steady-state modes between which the transition is being studied. In general, this way, it is possible to assess the adaptability of cooling and lubrication systems to heat dissipation during sudden changes in load, to avoid, or at least limit, the growth of thermal stresses. The publication presents a possible variant of the schematic solution of such a system for automated processing of the results of heat balance tests with the maximum use of equipment that is mass-produced and has already been used previously in heat balance tests.

Key words: motor-tractor diesel engine; heat balance tests; automation of information processing in steady-state and transient modes

УДК 621.433

DOI: 10.20998/0419-8719.2024.2.08

Д.І. Іванов, С.Ю. Білик

ПЕРЕВАГИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ СТАЦІОНАРНИХ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ

На даний момент у світі відсутня масова альтернатива енергетичним установкам основу яких складають двигуни внутрішнього згоряння. Такі енергетичні установки на цей час повністю освоєні у виробництві, вони – мобільні, не громіздкі, не залежать від погодних умов (наявність вітру і течії, як цього вимагають вітрові та гідроелектростанції). Різноманітність та доступність палива також є дуже великою перевагою використання двигунів внутрішнього згоряння. З іншого боку, двигуни є джерелом тепла, шуму та хімічного забруднення, а працюючи на викопних видах палива, вони сприяють негативним кліматичним змінам на планеті, тому питання підвищення паливної, економічної та екологічної ефективності в експлуатації двигунів на транспортних засобах є актуальним. З швидким розвитком інформаційних технологій в наш час є можливість створити досконалу систему керування стаціонарними двигунами, використовуючи технологію цифрових двійників, яка в майбутньому змогла б взяти на себе повністю задачу керування установкою з мінімальним втручанням людини, виключивши ефект людського фактору і тим самим збільшити ресурс та ефективність використання силового агрегату. Завдання полягає в тому, щоб за допомогою системи прогнозування оцінити реальний технічний стан двигуна і на основі одержаних даних встановити оптимальні терміни технічного обслуговування, а також запобігти можливим аваріям, які тягнуть за собою дорогі ремонт, або навіть повну заміну агрегату. Така система була б актуальною для великих, вартісних стаціонарних машин, задіяних в будь-яких технологічних процесах, де простій агрегату тягне за собою фінансові втрати, пов'язані з припиненням того чи іншого виробничого процесу. Представниками цього типу електростанцій є газові двигуни – приводи для дотискувальних або свердловинних газових компресорів, газогенераторів, що працюють на звалищному газі або біогазі.

Ключові слова: газовий двигун; цифровий двійник; терміни обслуговування; ресурс; предиктивна модель, енергетична установка, експлуатація