

регулятора на різних сталих і динамічних режимах і підтверджують необхідність налаштування ПІД-параметрів в залежності від експлуатаційних режимів роботи дизеля. Встановлено, що стабільність підтримки частоти обертання розробленим всережимним мікропроцесорним регулятором за різних усталених швидкісних режимів не перевищує 5%. Величини закидання частоти обертання і тривалості перехідних процесів не гірші, ніж за використанні серійного механічного регулятора.

#### SIMILE OF INDICATORS OF WORK OF VARIOUS SPEED REGULATORS ON AUTOMOBILE DIESEL

A.A. Lisoval, A.V. Verbovskiy

The purpose of the research is to compare the quality indicators of the speed regulation of an automobile diesel with an all-mode mechanical regulator of direct action and an all-mode microprocessor regulator of indirect action on steady and transient regimes.

Motor comparative researches were carried out on the same 4-cylinder automobile diesel with turbocharging (cylinder diameter 120 mm, stroke 140 mm). The object of experimental research is an automatic serial mechanical and microprocessor-based automotive diesel engine control systems developed by the authors. The results of digital records allows to visually assess the quality indicators of the speed regulation and adjustment of speed regulators.

The results of the comparative analysis show the satisfactory operation of the developed all-mode microprocessor controller in various steady-state and dynamic modes and confirm the necessity of tuning the PID parameters depending on the operational mode of operation of the diesel engine. It is established that the stability of maintaining the rotational speed of the developed all-mode microprocessor regulator at different steady regimes shaft speeds does not exceed 5%. The values of the casting speed and the duration of the transient processes are no worse than using a serial mechanical regulator.

УДК 621.43.016

DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.08

О.В. Триньов, Д.Г. Сівих, Р.Ю. Бугайцов

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЦИЛІНДРОВОЇ ГІЛЬЗИ ШВИДКОХІДНОГО ДИЗЕЛЯ

*Циліндрові гільзи швидкохідних автотракторних дизелів не зазнають в умовах експлуатації значних навантажень, характеризуються порівняно невисоким рівнем напружень. При цьому температурний профіль робочої поверхні гільзи відзначається значною нерівномірністю по висоті. Оптимізація температурного профілю може розглядатися як один з шляхів зниження механічних витрат при підтриманні оптимальної в'язкості моторного мастила, яка залежить від температури гільзи. Важливу роль при проведенні досліджень теплонапруженого стану деталей камери згоряння ДВЗ, зокрема циліндрових гільз, відіграють експериментальні методи. Сучасні методики проведення випробування ДВЗ з термометрією деталей камери згоряння в переважній більшості випадків орієнтовані на цифрову обробку інформації вже під час самого експерименту, що прискорює аналіз отриманої інформації, дозволяє вносити певні корективи в хід моторного експерименту. Метою проведеного дослідження було удосконалення методики обробки інформації в процесі термометрії циліндрової гільзи швидкохідного дизеля на усталених і на перехідних режимах скидання навантажень, характерних для двигунів цього типу. Ставилися задачі розробки необхідного обладнання та його перевірки при проведенні моторних випробувань. Аналізуються матеріали публікації, пов'язаних з обробкою експериментальної інформації з термометрії деталей ДВЗ, наведено детальний опис запропонованої функціональної схеми розробленого пристрою, наведені також окремі результати проведеного моторного експерименту. Розроблену методику пропонується використати при подальших дослідженнях з оптимізації теплового стану циліндрових гільз автотракторних ДВЗ.*

#### Вступ

Зростання вимог щодо економічних та екологічних показників сучасних автотракторних дизелів вимагає проведення детального експериментально-розрахункового аналізу процесів, які визначають рівень індикаторних та ефективних показників ДВЗ. Зокрема, такі процеси пов'язані з тепловим станом циліндрової гільзи. Вплив теплового стану проявляється, насамперед, через рівень витрат теплоти в систему охолодження, а також через рівень механічних витрат на тертя в спряженні поршень-циліндрова гільза. В останньому випадку температурний стан (температурний профіль) робочої поверхні гільзи визначає в'язкість моторного масла.

В'язкість масла в свою чергу зумовлює витрати на тертя, які, як відомо, в цьому спряженні є основними по двигуну.

Роботи з оптимізації температурного профілю робочої поверхні гільзи суднового дизеля 6ЧН/26/34 були започатковані на кафедрі ДВЗ НТУ «ХП» у 80-х роках під керівництвом проф. Є.І. Третяка. За рахунок такої оптимізації було досягнуто в моторних експериментах зниження ефективних витрат палива в межах 3-4 г/(кВт·год), що є безумовно суттєвим результатом з огляду на рівень циліндрових потужностей суднових середньооборотних ДВЗ. Останнім часом такі ж дослідження для забезпечення оптимального теплового стану цилін-

дрової гільзи автотракторного дизеля 4ЧН12/14 продовжуються на кафедрі ДВЗ. Крім аналізу теплового стану, моделюється також і напружено-деформований стан, оцінюється рівень напружень як в матеріалі гільзи, так і для прошарків теплозахисного покриття, яке наноситься на зовнішню поверхню гільзи для обмеження витрат теплоти в систему охолодження і вимірювання температурного профілю в заданих межах по висоті гільзи.

Проведення такого дослідження, як обов'язковий етап, вимагає отримання експериментальної інформації для оцінки ефективності запропонованих конструктивних рішень, для уточнення розрахункової ММ. В даному випадку достовірність, точність експериментальних даних визначатимуть адекватність розрахункової моделі, при цьому удосконалення експериментальної методики є актуальним.

В представленій публікації об'єктом дослідження є тепловий стан циліндрової гільзи дизеля 4ЧН12/14 та методика його експериментального визначення на усталених та перехідних режимах скидання-накидання навантаження, характерних для експлуатації автотракторних дизелів.

#### Аналіз публікацій

Для уточнення ММ теплонапруженого стану циліндрової гільзи дизеля СМД-18Н був проведений моторний експеримент з термометрії гільзи [1]. З цією метою в гільзі четвертого циліндра було встановлено 16 хромель-копелевих термопар та 16 тензодатчиків типу НМТ-450. «Гарячі» спаї термопар знаходяться на відстані  $1 \pm 0,1$  мм від дзеркала гільзи, тензодатчики закріплювалися на зовнішній поверхні за допомогою контактного зварювання. Перед установкою гільзи на двигун гільзу повільно нагрівали в термічній шафі (швидкість нагрівання близько  $2^\circ\text{C}/\text{хв}$ ), таким чином про-водилася перевірка придатності термопар на їх тарування, визначалися також при цьому термічні опори тензодатчиків [1].

Особливістю проведених експериментів була методика реєстрації температурних характеристик для окремих контрольних точок не перехідних режимах скидання-накидання навантаження. Відомо, що саме ці режими спричиняють закиди термічних напружень, які можуть перевищувати критичний рівень. Для реєстрації змінних температур і деформацій в цьому експерименті була застосована тензометрична система СІИТ-3 з окремим пристроєм для реєстрації термо-ЕРС. Швидкодія системи СІИТ-3 складала 20 вимірів за секунду, тобто для фіксації температур і деформацій по всіх контрольних точках гільзи було необхідно лише 2 с. При

проведенні експерименту на перехідному режимі запис (запит) здійснювався в ручному режимі, в першу хвилину від початку процесу через кожні 10 с, в другу хвилину – через 20 с, в подальшому – через кожні 60 с. При цьому інформація, зокрема по кожній термопарі, виводиться на папір друкувальним пристроєм у мВ. В подальшому мВ ЕРС переводилися за допомогою спеціальних таблиць в градуси температури [1]. Кінцевою метою проведеного розрахунково-експериментального дослідження було визначення умов появи закидів термічних напружень.

В дослідженні [2,3] з метою експериментальної оцінки впливу на паливну економічність суднового дизеля 6ЧН26/34 температурного стану робочої поверхні гільзи, а також визначення оптимального конструктивного варіанта, який би забезпечив максимальне зниження механічних витрат на тертя по циліндровій гільзі, була проведена серія моторних випробувань. Для фіксації температур спочатку використовувалися хромель-алюмелеві термопари (11 контрольних точок), розміщені вповдовж робочої поверхні гільзи [2], а в подальшому для більш точної фіксації температур на поверхні гільзи, капсульні термопари були замінені поверхневими [3]. В поверхневих термопарах «гарячий» спай утворюється зварюванням на зовнішній торцевій поверхні капсуля і розміщується на одному рівні («заподлицо») з робочою поверхнею гільзи циліндра. При цьому при однакових інших умовах підвищується точність та достовірність визначення температур поверхні тертя, а значить і температурних умов тертя. Контрольні точки для побудови температурного профілю дзеркала гільзи в експерименті [3] розміщувалися наступним чином. Дві з контрольних точок були розміщені відповідно положенням першого компресійного кільця в ВМТ і в НМТ. Дві інші точки розміщувалися над точкою, що відповідає положенню першого компресійного кільця в ВМТ, за їх допомогою фіксувалися максимальні температури гільзи. На ділянці переміщення першого компресійного кільця від ВМТ до НМТ, крім крайніх (верхньої та нижньої) додатково, приблизно на однаковій відстані були встановлені ще дві термопари. Для визначення мінімальної температури гільзи в нижній частині біля торцевої поверхні була встановлена ще одна термопара. Таким чином, для побудови температурного профілю необхідно мінімум 7 контрольних точок по висоті робочої поверхні [3]. В проведених експериментах тепловий стан гільзи оцінювався лише на усталених режимах навантажувальної характеристики, тому в даному випадку для реєстрації температури

можна використовувати цифрові вольтметри, наприклад А-565.

Більш повну інформацію щодо теплового стану робочої поверхні гільзи, розподілу теплових потоків можна отримати за допомогою перетворювача температур, конструкція якого була запропонована в роботі [4]. Розроблений перетворювач дозволяє отримати весь перелік необхідної інформації про тепловий стан гільзи. В конструкції перетворювача це досягається за рахунок таких його особливостей: способу утворення «гарячих» спаїв; типу зв'язків «гарячих» спаїв термопар з корпусом перетворювача; розміщення «гарячих» спаїв в корпусі перетворювача; способу з'єднання перетворювача з деталлю.

Детальний опис конструкції такого перетворювача наведено в роботі [4]. Перетворювач складається з корпусу, який виготовлено з такого ж матеріалу, як і сама деталь, корпус має форму конусної пробки. На торцевих поверхнях корпусу розміщені дві малогабаритні термопари. Корпус з термопарами встановлюється в спеціально підготовлену вибірку в тілі деталі. Діаметр «гарячих» спаїв визначається розміром вибірки (лунки), а також діаметром термоелектродів (зазвичай 0,2-0,5 мм). При цьому місце розміщення термопари, габарити термопари чітко обмежені розмірами лунки і розмірами корпусу перетворювача. В якості флюса була застосована бура. Конусний корпус перетворювача з натягом встановлюється в конусному отворі в гільзі на одному рівні з робочою поверхнею гільзи. Таким чином, в контрольній точці утворюються два «гарячих» спаї на чітко визначеній відстані один від одного, які дозволяють визначати не лише температури стінки гільзи, але й розраховувати величину теплового потоку від гільзи в систему охолодження [4]. Розроблений перетворювач було використано для оцінки теплового стану циліндрової гільзи судового дизеля на усталених режимах.

Метою дослідження є поліпшення економічних та екологічних показників швидкохідних дизелів автотракторного типу за рахунок оптимізації температурного профілю робочої поверхні циліндрової гільзи.

Задачі дослідження на даному етапі зводяться до уточнення розрахункової моделі ТНС циліндрової гільзи дизеля 4ЧН12/14 на основі результатів моторного експерименту. Підготовка до проведення експерименту включала розробку пристрою для запису температурних характеристик в цифровій формі як на усталених, так і на перехідних режимах скидання-накидання навантаження.

### Основні результати дослідження

При проведенні моторного експерименту використовувалася серійна гільза дизеля 4ЧН12/14, препарована хромель-алюмелевими термопарами. Контрольні термопари розміщувалися на відстані  $1 \pm 0,1$  мм від робочої поверхні гільзи. Для оснащення гільзи в її стінці були виконані глухі отвори діаметром  $4 \pm 0,05$  мм, термопара фіксувалася в капсулі конічної форми, який з натягом був закарбований в глухий отвір в стінці циліндрової гільзи. Діаметр хромель-алюмелевих електродів становив 0,3 мм, діаметр кульки спаю – 0,7-0,8 мм. В експерименті були задіяні 4 термопари, схема їх розміщення представлена на рис.1.

При проведенні моторного експерименту паралельно з отриманням температурних характеристик вирішувалася також і задача перевірки на надійність розробленого пристрою для обробки інформації в цифровій формі. Слід зазначити, що аналогічні пристрої вже використовувалися при проведенні безмоторних експериментів. Зокрема в публікації [5] розглядаються результати випробування розробленої на кафедрі ДВЗ НТУ«ХП» системи автоматичного регулювання теплового стану (САРТС) клапанного вузла автотракторного дизеля. Підтримання заданого теплового стану деталей вузла в даному випадку забезпечувалося за рахунок регульованого локального повітряного охолодження сідла випускного клапана. В розробленій САРТС охолоджуюче стиснене повітря ( $p_p = 0,1-0,3$  МПа) подавалося з накопичувального ресивера через повітряпідвідні канали в голівці циліндрів. Система містить регулятор подачі повітря (РПП), який включає в автоматичному режимі подачу стисненого повітря при досягненні певної критичної температури сідла або ж випускного клапана. Для визначення таких критичних температур проводяться моторні випробування з термометрією сідла (випускного клапана) і визначення на критичних режимах температури відпрацьованих газів. В подальшому в умовах експлуатації серійним датчиком контролюється температура відпрацьованих газів, яка є визначальним (вхідним) параметром для САРТС.

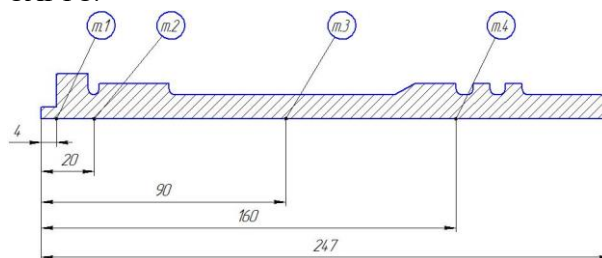


Рис.1. Схема розміщення контрольних термопар

Регулювання локального охолодження, включення-виключення РПП здійснюється спеціально розробленою і запрограмованою мікропроцесорною системою. Система при роботі двигуна постійно контролює температуру відпрацьованих газів, підсилений сигнал подається на вхід внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера. Точність вимірів температури, яка забезпечується каналом АЦП, знаходиться в межах  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$  при температурах відпрацьованих газів  $\pm 650\text{-}750^{\circ}\text{C}$ . Мікроконтролер виконує програму з внутрішньої Flash-пам'яті. Система управління була виконана на базі мікроконтролера ATmega 16 фірми Atmel і підтвердила свою надійність в умовах безмоторного експерименту [5].

Для управління тепловим станом підшипника малорозмірного турбокомпресора (ТК) була розроблена відповідна САРТС [6]. Розроблена САРТС підшипника ТК представляє собою терморегулятор з гістерезисом по температурі включення-виключення. Система побудована на мікроконтролері ATmega 328. Вхідним сигналом, як і в попередньому випадку, слугує температура відпрацьованих газів на виході з турбіни ТК. Логіка роботи системи полягає в постійному контролі температури відпрацьованих газів. При досягненні критичних значень, які задаються для програми управління, в автоматичному режимі відбувається включення електромагнітного клапана, стиснене повітря подається на охолодження підшипника, ротора, турбінного колеса. Електромагнітний клапан серійно виготовляється фірмою Lovato і використовується за основним призначенням в автомобілях з газобалонним обладнанням. Проведені безмоторні експерименти з моделюванням керованого в автоматичному режимі локального охолодження підшипникового вузла ТК підтвердили ефективність системи [6].

Проведення моторних експериментів у порівнянні з безмоторними ставить більш жорсткі вимоги до реєструючої апаратури, в тому числі і такої, яка здійснює запис в цифровій формі. Серед чинників, які ускладнюють обробку сигналу від первинних датчиків, можна назвати підвищені температури, вібрації, руйнівну дію палива і мастила при тривалій експлуатації такої апаратури на двигуні.

Зупинимося детальніше на конструкції пристрою, який було використано для реєстрації сигналу від термопар у проведеному моторному випробуванні. З цією метою було розроблено пристрій на основі мікроконтролера з можливістю одночасної реєстрації значень температури від 16-ти термопар. Структурна схема пристрою представлена на рис.2.

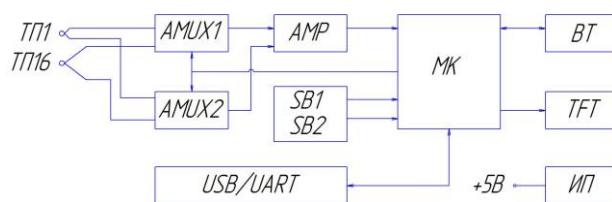


Рис.2. Структурна схема пристрою для реєстрації температури: ТП1-ТП16 – хромель-алюмелеві термопари; AMUX1, AMUX2 – аналогові мультиплексори; AMP – вимірювальний підсилювач; SB1, SB2 – кнопки управління; МК – мікроконтролер; USB/UART – контролер інтерфейсу послідовної передачі даних; BT – модуль бездротової передачі даних; TFT – рідкокристалічний дисплей; ІП – джерело живлення

В якості вимірювального підсилювача застосовано спеціалізований підсилювач сигналу від термопар AD8495 (розробник фірма Analog Devices) – це прецизійний інструментальний підсилювач з інтегрованою системою компенсації «холодного» спаю термопари. Він формує вихідний сигнал високого рівня ( $5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ), безпосередньо сприймаючи сигнал від термопари, використовуючи при цьому комбінацію джерела опорної напруги, яка відповідає температурі танення льоду, і попередньо відкаліброваного підсилювача.

Вибір підсилювача AD8495 був зумовлений наступними його перевагами:

- AD8495 може працювати від однополярної напруги (менше 3В) і пристосований до вимірювання температур менших  $0^{\circ}\text{C}$ , при відповідному зміщенні вхідної опорної напруги;

- підсилювач при виготовленні калібрується шляхом лазерної підгонки на пластині для узгодження з характеристиками термопари типу К (хромель-алюмель), оптимальні температури навколишнього середовища – від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;

- AD8495 підтримує роботу з напругою до 3В, що дозволяє його використовувати в схемах з низьковольтними АЦП, може також працювати з напругою живлення до 36В;

- при однополярній напрузі живлення до 5В вихідна напруга забезпечує масштаб  $5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ , що дозволяє охоплювати діапазон температур до  $1000^{\circ}\text{C}$ .

Підсилювач AD8495, крім підсилення сигналу від хромель-алюмелевих термопар, має застосування в термометрах з вимірюванням температури в градусах Цельсія, в універсальних компенсаторах «холодного» спаю, при вимірюванні температури відпрацьованих газів та в каталітичних перетворювачах.

Під управлінням мікроконтролера здійснюється циклічна комутація термопар на входи підсилювача з послідуочим аналого-цифровим перетворенням вихідної напруги, яка відповідає темпера-

турі в контрольній точці гільзи. В циклі комутації термопар і перетворення сигналів в цифровий код передбачена певна затримка, яка необхідна для відновлення нормального сигналу після комутації і роботи АЦП.

Основним елементом реєструючої системи є мікроконтролер ATmega 328 з відповідними характеристиками. Мікроконтролер по черзі підключає термопару через мультипроцесор до підсилювача AD8495 і перетворює вихідну напругу в значення температури. За цикл комутації термопар в пам'яті мікроконтролера формується масив значень температур по кожній термопарі. В кінці циклу опитування термопар вся ця інформація виводиться на дисплей для відображення, а також може бути передана по каналу бездротового зв'язку Bluetooth. Передбачена можливість для оператора за допомогою кнопок управління SB1, SB2 призначати періодичність опитування, наприклад через кожні 0,5 с, 1 с, 5 с, 10 с. Оператор також має можливість вибірково виводити на дисплей всі 16 каналів (температурних характеристик), окремі групи каналів (1-4).

Для реєстрації температурних характеристик в проведеному експерименті застосовано ПК (ноутбук) зі встановленим модулем Bluetooth. В середовищі лабораторної інструментальної техніки LabVIEW було створено віртуальний інструмент для прийому інформації від вимірювального блоку з наступною графічною візуалізацією та накопиченням інформації у вигляді текстового файлу.

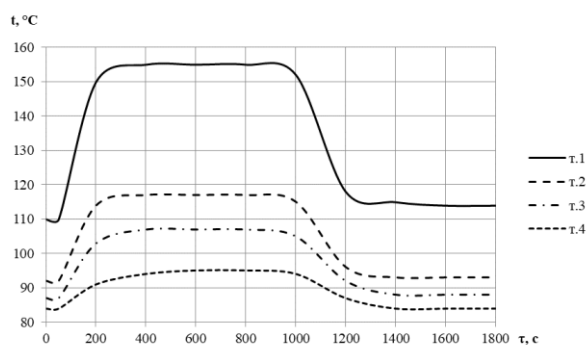


Рис. 3. Температурні характеристики для контрольних точок (t.1 – t.4) циліндрової гільзи на перехідних режимах ( $n_{xx} = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $p_t = 0 \text{ кГс} \leftrightarrow n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $p_t = 45 \text{ кГс}$ )

В нашому експерименті з термометрією гільзи опитування 4-х термопар проводилося через 1 с. Запис температурних характеристик, необхідних для уточнення граничних умов задачі теплопровідності, було проведено на усталених і перехідних режимах. На рис.3, як приклад, приводяться температурні характеристики, отримані в ході експерименту для перехідних режимів накиду навантажен-

ня від режиму холостого ходу ( $n_{xx} = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $p_t = 0 \text{ кГс}$ ) до режиму  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ,  $p_t = 45 \text{ кГс}$  і скидання навантаження в зворотному напрямку. Для кожного з процесів тривалість запису характеристик становила 15 хвилин (до стабілізації температур в кінці кожного процесу). Була проведена додаткова обробка, осереднення результатів для кожних найближчих 5-ти значень.

Термометрія гільзи проводилася паралельно з плановими випробуваннями дизеля, укомплектованого штатним обладнанням і контрольно-вимірювальними приладами.

### Висновки

В ході проведеного експерименту були отримані температурні характеристики циліндрової гільзи швидкохідного дизеля, необхідні для уточнення розрахункової моделі нестационарного ТНС гільзи. Моторний експеримент показав високу надійність розробленого пристрою для реєстрації таких характеристик в цифровій формі як на усталених, так і на перехідних режимах.

### Список літератури:

1. Шеховцов А.Ф. Тепловое и напряженно-деформированное состояние гильзы цилиндра быстроходного дизеля при нестационарных нагрузках // А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонтаровский, Ф.И. Абрамчук // Двигатели внутреннего сгорания. – 1993. – №10. – с.9-22.
2. Третьяк Е.И. Определение пределов регулирования теплового состояния гильзы цилиндра судового дизеля 6ЧН26/34 при ограниченном теплоотводе // Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало // Двигатели внутреннего сгорания. – 1989. – №49. – с.80-84.
3. Третьяк Е.И. Оценка возможности улучшения топливной экономичности судового дизеля 6ЧН26/34 при тепловой защите гильзы цилиндров // Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало, О.С. Кинжалов // Двигатели внутреннего сгорания. – 1986. – №45. – с.33-39.
4. Третьяк Е.И. Экспериментальное исследование эффективности ограниченного теплоотвода гильзы цилиндра дизеля 6ЧН26/34 // Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало // Двигатели внутреннего сгорания. – 1990. – №52. – с.78-85.
5. Тринев А.В. Автоматическое регулирование теплового состояния клапанного узла быстроходного дизеля // А.В. Тринев, Д.Г. Сивых, Б.В. Синаевский, С.Ю. Пилипенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – №2. – с.50-55.
6. Тринев А.В. Разработка системы локального охлаждения подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного дизеля // А.В. Тринев, Д.Г. Сивых, В.А. Несвитайло // Двигатели внутреннего сгорания. – 2016. – №1. – с.44-50.

### Bibliography (transliterated):

1. Shekhovcov A.F., Gontarovskij P.P., Abramchuk F.I. (1993). Thermal and stress-strain state of the cylinder liner of a high-speed diesel engine under nonstationary stresses [Тепловое и напряженно деформированное состояние гильзы цилиндра быстроходного дизеля при нестационарных нагрузках], Internal Combustion Engines [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 10, pp. 9–22. 2.

Tretyak Ye. I., Gockalo B.L. (1989), Determination of the limits of regulation of the thermal state of the cylinder liner cylinder 6CHN26/34 ship diesel with limited heat removal, [Определение пределов регулировки теплового состояния гильзы цилиндра судового дизеля 6CHN26/34 при ограниченном теплоотводе], *Internal Combustion Engines*, [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 49, pp. 80–84. 3. Tretyak Ye. I., Gockalo B.L., Kinzhlov O.S. (1986), Estimation of the possibility of improving the fuel efficiency of the marine diesel 6CHN26 / 34 with thermal protection of the cylinder sleeve [Оценка возможности улучшения топливной экономичности судового дизеля 6CHN26/34 при тепловой защите гильзы цилиндра], *Internal Combustion Engines* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 45, pp. 33–39. 4. Tretyak Ye.I., Gotskalo B.L. (1990), Experimental study of the effectiveness of a limited heat sink for cylinder liners of diesel 6CHN26/34

[Eksperimentalnoe issledovanie effektivnosti ogranichenogo teplotovoda gilzy tsilindra dizelya 6CHN26/34], *Internal Combustion Engines* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 52, pp. 78-85. 5. Trinev A.V., Sivykh D.G., Sinyavskiy B.V., Pilipenko S.Yu. (2013) Automatic control of the thermal state of the high-speed diesel engine valve assembly [Автоматическое регулирование теплового состояния клапанного узла быстроходного дизеля], *Internal Combustion Engines* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 2, pp. 50-55. 6. Trinev A.V. Sivykh D.G., Nesvitaylo V.A. (2016), Development of a local cooling system for the turbocharger bearing assembly of an autotractor diesel engine [Разработка системы локального охлаждения подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного дизеля], *Internal Combustion Engines* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"], Kharkov, NTU "KhPI", no. 1, pp. 44-50.

Надійшла до редакції 01.06.2018 р.

**Триньов Олександр Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: atrinev@gmail.com.

**Сівих Дмитро Георгійович** – канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних технологій і систем колісних і гусеничних машин ім. О.О. Морозова Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: sivikh1979@gmail.com.

**Бугайцов Руслан Юрійович** – студент кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: ru.bugaycov@mail.ru.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРОВОЙ ГИЛЬЗЫ БЫСТРОХОДНОГО ДИЗЕЛЯ

*А.В. Триньов, Д.Г. Сивых, Р.Ю. Бугайцов*

Цилиндровые гильзы быстроходных автотракторных дизелей не подвержены в условиях эксплуатации значительным нагрузкам и характеризуются сравнительно невысоким уровнем напряжений. При этом температурный профиль рабочей поверхности гильзы отмечается значительной неравномерностью по высоте. Оптимизация температурного профиля может рассматриваться как один из путей снижения механических затрат при поддержании оптимальной вязкости моторного масла, которая зависит от температуры гильзы. Важную роль при проведении исследований теплонапряженного состояния деталей камеры сгорания ДВС, в частности цилиндровых гильз, играют экспериментальные методы. Современные методики проведения испытания ДВС с термометрией деталей камеры сгорания в подавляющем большинстве случаев ориентированы на цифровую обработку информации уже во время самого эксперимента, что ускоряет анализ полученной информации, позволяет вносить определенные коррективы в ход моторного эксперимента.

Целью проведенного исследования было усовершенствование методики обработки информации в процессе термометрии цилиндрической гильзы быстроходного дизеля на установившихся и на переходных режимах сброса-наброса нагрузок, характерных для двигателей этого типа. Ставились задачи разработки необходимого оборудования и его проверки при проведении моторных испытаний. Анализируются материалы публикации, связанных с обработкой экспериментальной информации по термометрии деталей ДВС, приведено подробное описание предлагаемой функциональной схемы разработанного устройства, приведены также отдельные результаты проведенного моторного эксперимента. Разработанную методику предлагается использовать при дальнейших исследованиях по оптимизации теплового состояния цилиндрических гильз автотракторных ДВС.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE THERMAL STATE OF A CYLINDER LINER OF A HIGH-SPEED DIESEL ENGINE

*A.V. Trinev, D.G. Sivykh, R.Yu. Buhaitsov*

Cylinder sleeves of high-speed diesels are not subject to significant loads under operating conditions and are characterized by a relatively low stress level. In this case, the temperature profile of the working surface of the liner is marked by considerable unevenness in height. Optimization of the temperature profile can be considered as one of the ways to reduce mechanical costs while maintaining the optimum viscosity of the engine oil, which depends on the temperature of the liner. Experimental methods play an important role in conducting studies of the heat stressed state of parts of the combustion chamber of internal combustion engines, in particular cylinder casings. Modern methods for conducting an ICE test with the thermometry of the combustion chamber parts in the overwhelming majority of cases are focused on digital processing of information already during the experiment itself, which speeds up the analysis of the information obtained, allows certain corrections to be made to the course of the motor experiment. The purpose of the study was to improve the information processing technique in the process of thermometry of a cylindrical sleeve of a high-speed diesel engine in steady-state and transient regimes of discharge-draft loads characteristic of engines of this type. The tasks were to develop the necessary equipment and to test it during motor tests. The materials of the publication related to the processing of experimental information on the thermometry of ICE parts are analyzed, the detailed description of the proposed functional scheme of the developed device is given, and also the individual results of the motor experiment are given. The developed technique is proposed to be used in further studies to optimize the thermal state of cylindrical cartridges of automotive tractor engines.