

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЕРВОАКТУАТОРА

А.А. Прохоренко, С.С. Кравченко, Д.Е. Самойленко, И.Н. Карягин, Д.С. Таланин

Разработан электронный регулятор топливной системы высокого давления для транспортного дизеля, внедрение которого позволит формировать оптимальные характеристики транспортного средства с учетом условий его эксплуатации и согласованности с любыми видами трансмиссии и двигателя. Авторами предложена функциональная схема и алгоритм электронного регулятора дизеля, основанный на аналогии с работой механического пружинно-рычажного регулятора прямого действия. Разработан алгоритм работы подсистемы управления позиционированием исполнительного механизма (серво-актуатором) HEINZMANN, который построен на параллельной работе позиционного и пропорционально-дифференциально-изодромного регуляторов. Проведенные безмоторные исследования топливного насоса высокого давления марки BOSCH PES 4P 100A, оборудованного электрическим серво-актуатором, показали, что разработанная авторами система электронной регулировки может обеспечить идентичные со штатным механическим регулятором, а при простой переналадке – любые необходимые регуляторные характеристики двигателя.

UNIVERSAL CONTROLLER OF DIESEL ON THE BASIS OF ELECTRIC SERVO-ACTUATOR

A.A. Prokhorenko, S.S. Kravchenko, D.E. Samoilenko, I.N. Karyagin, D.S. Talanin

An electronic actuator of a high-pressure fuel system for a transport diesel has been developed, the introduction of the actuator will allow to formulate optimum characteristics of a vehicle taking into account the conditions of its operation and coordination with any types of transmission and engine. The authors proposed a functional scheme and an algorithm for an electronic diesel actuator, based on the analogy with the operation of a mechanical spring-lever governor of direct action. The algorithm of the HEINZMANN actuator positioning control subsystem (servo-actuator) is developed. The algorithm is built on the parallel operation of the positional and proportional-differential-isodromic actuators. The motorless research of the high-pressure fuel pump BOSCH PES 4P 100A, equipped with an electric servo-actuator, showed that the electronic governor system developed by the authors can provide identical with a regular mechanical governor characteristics and could be easily adapted to the any necessary regulatory characteristics of the engine.

УДК 621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.07

А.А. Лисовал, А.В. Вербовский

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ СКОРОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ДИЗЕЛЕ

Цель исследования – сравнение показателей качества регулирования скорости автомобильного дизеля с все-режимным механическим регулятором прямого действия и все-режимным микропроцессорным регулятором непрямого действия на установившихся режимах и в переходных процессах.

Моторные сравнительные исследования проведены на автомобильном дизеле 4ЧН12/14. Объект экспериментальных исследований - автоматическая серийная механическая и разработанные авторами микропроцессорные системы регулирования автомобильного дизеля. Результаты цифровых записей позволяют визуально оценить качество регулировки и настройки регуляторов скорости.

Результаты сравнительного анализа показывают удовлетворительную работу разработанного все-режимного микропроцессорного регулятора на различных установившихся и динамических режимах и подтверждают необходимость настройки ПИД-параметров в зависимости от эксплуатационных режимов работы дизеля. Установлено, что стабильность поддержания частоты вращения разработанным все-режимным микропроцессорным регулятором при различных установившихся скоростных режимах не превышает 5%. Величины заброса частоты вращения и длительности переходных процессов не хуже, чем при использовании серийного механического регулятора.

Введение

Вопросы разработки, внедрения, настройки и эксплуатации микропроцессорных систем управления и регулирования дизелей остаются актуальными для двигателестроения, так как элементная база, информационные технологии и, соответственно, программное обеспечение для таких систем постоянно совершенствуются. Функции системы автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала дизеля необходимы и для микропроцессорных систем управления.

На кафедре двигателей и теплотехники Наци-

онального транспортного университета (г. Киев) разработаны микропроцессорные двухрежимный и все-режимный регуляторы частоты вращения коленчатого вала (скорости) дизеля. Двухрежимный микропроцессорный регулятор (МР) создан на основе микроконтроллера фирмы Микрочип и пропорционального электромагнита, воздействующего на рейку ТНВД. Этот двухрежимный МР скорости был испытан на автотракторном дизеле 4ЧН12/14, где ранее на ТНВД стоял механический регулятор [1].

Все-режимный МР разработан на основе элек-

тронного блока и поворотного электромагнита фирмы Hainzmann с реализацией алгоритма ПИД-регулирования скорости [2-4]. Всережимный МР был испытан на этом же дизеле 4ЧН12/14, а также на 6-ти и 8-ми цилиндровых дизелях ЯМЗ. Одним из результатов исследований всережимного МР является разработка универсальных рекомендаций для настройки ПИД-параметров для автомобильного дизеля [5]. Установлено, что для обеспечения устойчивой работы и качественных переходных процессов автомобильных дизелей необходим индивидуальный выбор исполнительного механизма и ПИД-параметров для каждого модельного ряда дизелей с учётом условий их эксплуатации. На малых и средних частотах вращения задавали относительно небольшие значения П-составляющей, а с приближением к номинальному режиму значение П-составляющей увеличивали. Влияние ПИД-параметров настройки МР дизеля на расход топлива ощутимо при переходных процессах. По результатам исследования переходных процессов возможная экономия топлива при правильной настройке составила 2,25 % [5].

Представленные далее в статье результаты исследований являются результатом продолжения работ по настройке всережимного МР для автомобильного дизеля. В научной и учебной литературе по автоматическому регулированию скорости дизеля в основном описывают преимущества и недостатки регуляторов различных типов [6].

Цель исследования – сравнение показателей качества регулирования скорости автомобильного дизеля с всережимным механическим регулятором прямого действия и всережимным МР непрямого действия на установившихся режимах и в переходных процессах.

Моторные сравнительные исследования проведены на автомобильном дизеле 4ЧН12/14. В качестве объекта экспериментальных исследований выбраны автоматическая серийная механическая и разработанные авторами микропроцессорные системы регулирования автомобильного дизеля с блочным рядным ТНВД. Регулировки всех других систем и механизмов дизеля были одинаковыми.

Результаты сравнительных исследований

Для сравнительных исследований различных типов регуляторов скорости выбраны только те результаты моторных испытаний, которые были проведены при одинаковых условиях и одинаковых режимах. Для всех типов регуляторов скорости дизеля производилась цифровая запись частоты вращения дизеля на установившихся режимах и переходных процессах в файл персонального компьютера через программно-измерительный ком-

плекс и порт R232. Однако, дискретность преобразования аналоговых сигналов в цифровые не всегда была одинаковой [1]. Результаты цифровых записей позволяют визуально оценить качество регулировки и настройки регуляторов скорости.

При испытаниях дизеля 4ЧН12/14 с всережимным МР на основе узлов фирмы Hainzmann были выбраны значения ПИД-параметров: П-составляющая равна 5, И-составляющая – 10, Д-составляющая – 12. Значения ПИД-параметров представлены в безразмерном виде для соответствующих каналов и коэффициентов усиления. Эти значения ПИД-параметров далее выбрали как эталонные.

Для сравнения качества регулирования провели сравнение работы дизеля 4ЧН12/14 на установившихся режимах при 800 мин^{-1} (рис. 1), 1100 мин^{-1} (рис. 2, а) и 1800 мин^{-1} (рис. 2, б) с регуляторами различных типов. Необходимо отметить, что в диапазоне частот вращения $800 \dots 1800 \text{ мин}^{-1}$ всережимный МР имел эталонные значения ПИД-параметров, а после 1850 мин^{-1} П-составляющая имела увеличенное значение.

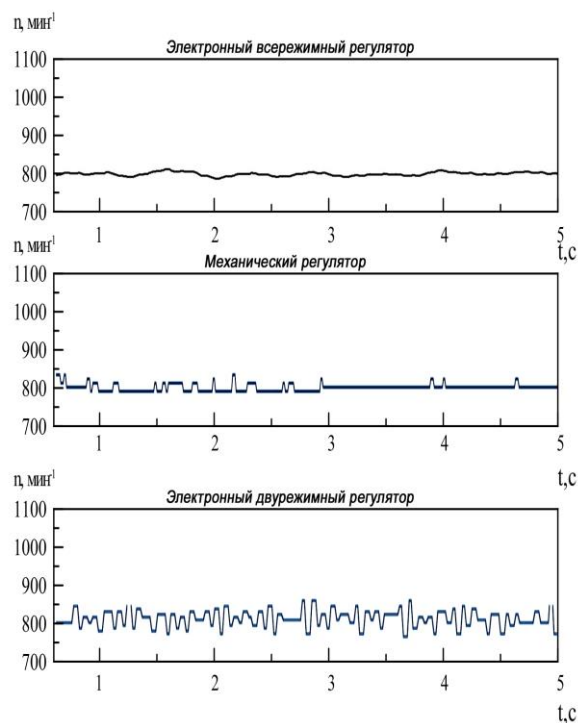


Рис. 1. Сравнение работы дизеля 4ЧН12 /14 с различными регуляторами при работе в режиме минимального холостого хода 800 мин^{-1} :
n-частота вращения коленчатого вала дизеля;
t-время

Приведенные результаты цифровых записей установившихся режимов показывают, что стабильность поддержания частоты вращения $\delta_{ст}$ разработанным всережимным МР не превышает 5 % и

не хуже, чем при использовании механического регулятора и двухрежимного электронного регулятора.

Работу дизеля с всережимным МР в переходных режимах сравнивали с данными подобного переходного процесса этого же дизеля с механическим всережимным регулятором. Переходный процесс моделировали на дизеле, установленном на тормозном стенде KS-56-4, «мгновенным» перемещением рычага управления, что соответствовало изменению частоты вращения коленчатого вала от 1000 до 1200 мин⁻¹. Переходные процессы дизеля 4ЧН12/14 с механическим и всережимным МР при разгоне показаны на рис. 3.

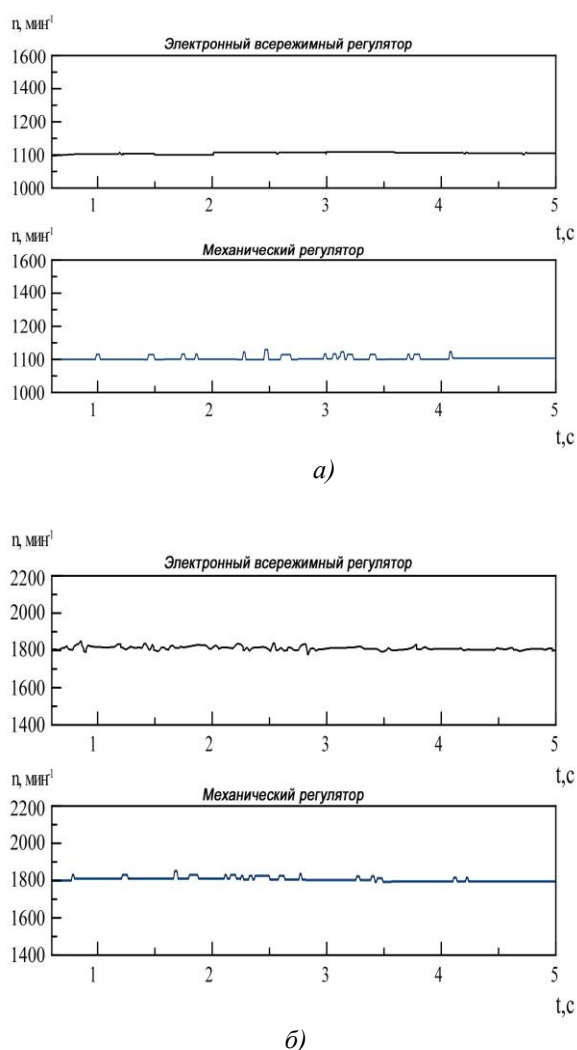


Рис. 2. Сравнение работы дизеля с различными регуляторами при частотах вращения коленчатого вала:
а) $n = 1100 \text{ мин}^{-1}$; б) $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

Низкая дискретность сигнала частоты вращения коленчатого вала механического регулятора объясняется низкой разрядностью аналого-

цифрового преобразователя (АЦП), который обрабатывал сигналы с датчика частоты вращения при цифровой записи. Заброс частоты вращения во время переходного процесса всережимного МР составил 1,3 %, а на механическом регуляторе – 2,3 %. Время переходного процесса 0,7 с в обоих случаях.

При длительности режима свободного ускорения дизеля 4ЧН12/14 с механическим всережимным регулятором 5 с рейка ТНВД практически не забрасывается на упор максимальной подачи топлива. На дизеле с всережимным МР был воспроизведен режим свободного ускорения аналогичный свободному ускорению дизеля с механическим регулятором. Во время свободного ускорения МР поддерживал темп перемещения рейки ТНВД 0,3 мм/с.

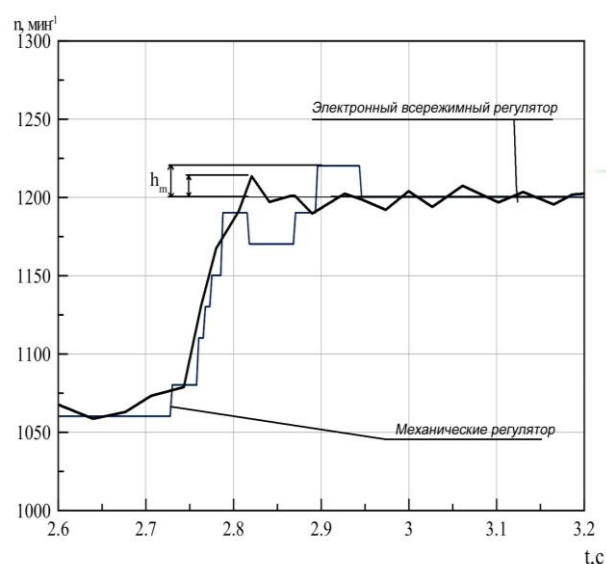


Рис. 3. Сравнение переходных процессов дизеля с механическим и электронным регулятором при разгоне:

n -частота вращения коленчатого вала дизеля; t - время переходного процесса, h_m -заброс частоты во время переходного процесса

На рис. 4 показано сравнение частоты вращения при этих испытаниях и перемещения рейки ТНВД оборудованного всережимным МР.

Полученные результаты показывают удовлетворительную работу разработанного всережимного МР при различных установившихся и динамических режимах и подтверждают необходимость настройки ПИД-параметров в зависимости от режима работы дизеля.

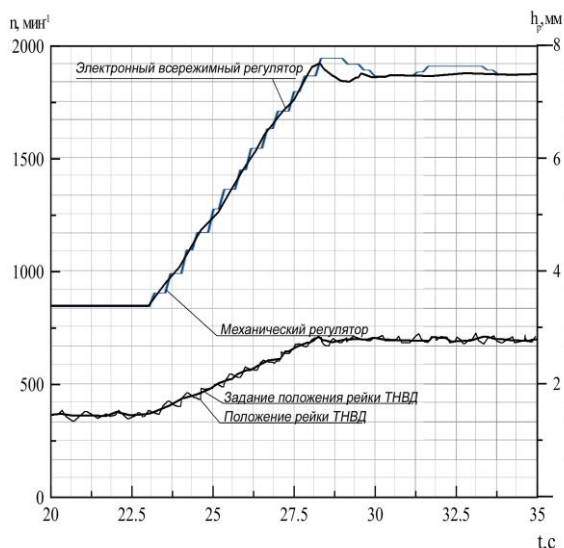


Рис. 4. Сравнение переходных процессов дизеля с механическим и электронным регулятором при свободном ускорении n -частота вращения коленчатого вала дизеля; h_p -перемещение рейки ТНВД; t -время переходного процесса

Заключение

Проведен сравнительный анализ результатов моторных исследований дизеля с серийным механическим регулятором прямого действия, всежимным и двухрежимным МР непрямого действия. Результаты сравнительного анализа показали удовлетворительную работу разработанного всежимного МР на различных установившихся и динамических режимах и подтвердили необходимость настройки ПИД-параметров и их коэффициентов усиления в зависимости от эксплуатационных режимов работы дизеля.

Установлено, что стабильность поддержания частоты вращения разработанным всежимным МР при различных установившихся скоростных режимах не превышает 5 %. Величины заброса ча-

стоты вращения и длительности переходных процессов не хуже, чем при использовании серийного механического регулятора.

Список литературы:

1. Кострица С.В. Вибір раціональних параметрів і розробка електронного регулятора частоти обертання дизеля : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.03 / С. В. Костриця; Нац. трансп. ун-т. - Київ, 2014. - 20 с. 2. HEINZMANN «Базовая информация по цифровому управлению» — К.: DG 95-105, 1997. — 72 с. 3. HEINZMANN «Цифровые регуляторы скорости» — К.: DG 95-105, 1997. — 49 с. 4. HEINZMANN «Базовая цифровая система PANDAROS II» — К.: DG 95-105, 1997. — 51 с. 5. Лисовал А.А. Влияние параметров настройки ПИД-регулятора скорости на расход топлива дизеля/ А.А. Лисовал, А.В. Вербовский, В.В. Штрибец // Двигатели внутреннего сгорания. — 2017. — №1. — С. 17–21.— DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.04. 6. Крутов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания / В.И. Крутов: учебник для студ. вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». — [5-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Машиностроение, 1989. — 516 с.

Bibliography (transliterated):

1. Kostriytsya, S.V. (2014), "The choice of rational parameters and the development of the electronic regulator of the frequency of rotation of the diesel engine" ["Vibr ratsionalnih parametriv i rozrobka elektronogo regulyatora chastoty obertannya dizelya"]: Author's thesis [avtoref. dis. kand. tehn. nauk]; - Kyiv, - 20 p. 2. HEINZMANN (1997), "Basic Information on Digital Governance" ["Bazovaya informatsiya po tsifrovomu upravleniyu"] DG 95-105, 72 p. 3. HEINZMANN (1997), "Digital speed regulators" ["Tsifrovyye regulatoryi skorosti"], DG 95-105, 49 p. 4. HEINZMANN (1997) "Basic digital system PANDAROS II" ["Bazovaya tsifrovaya sistema PANDAROS II"], DG 95-105, 51 p. 5. Lisoval A.A., Verbovskiy O.V., Shtribets V.V. (2017) "Effect of the PID speed controller settings on diesel fuel consumption", ["Vliyaniye parametrov nastroyki PID-regulyatora skorosti na rashod topliva dizelya"], Dvigateli vnutrennego sgoraniya No1, 17–21p.p. — DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.04. 6. Krutov V.I. (1989), "Automatic control and management of internal combustion engines. textbook for university students "Internal combustion engines" specialty, ["Avtomaticheskoe regulirovaniye i upravleniye dvigateley vnutrennego sgoraniya. Uchebnik dlya stud. vuzov, obuchayuschihsiya po spetsialnosti «Dvigateli vnutrennego sgoraniya»"], Mashinostroeniye, 516 p.

Поступила в редакцию 22.05.2018 г.

Лисовал Анатолий Анатольевич – докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры двигателей и теплотехники Национального транспортного университета, Киев, Украина, e-mail: li-dvz@bigmir.net. <https://orcid.org/0000-0001-6168-4010>

Вербовский Алексей Валериевич – канд. техн. наук младший научный сотрудник Института газа НАН Украины, Киев, Украина, e-mail: verbov@bigmir.net. <https://orcid.org/0000-0002-5306-9576>

ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ РІЗНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ШВИДКОСТІ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ДИЗЕЛІ

А.А. Лисовал, О.В. Вербовський

Мета дослідження - порівняння показників якості регулювання швидкості автомобільного дизеля з всежимним механічним регулятором прямої дії і всежимним мікропроцесорним регулятором непрямої дії в усталених режимах і перехідних процесах.

Моторні порівняльні дослідження проведені автомобільному дизелі 4ЧН12/14. Об'єкт експериментальних досліджень – автоматична серійна механічна і розроблені авторами мікропроцесорні системи регулювання автомобільного дизеля. Результати цифрових записів дозволяють візуально оцінити якість регулювання і налаштування регуляторів швидкості.

Результати порівняльного аналізу засвідчують задовільну роботу розробленого всежимного мікропроцесорного

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-