

витрати палива окремими форсунками на несталому режимі роботи двигуна під час розгону автомобіля.

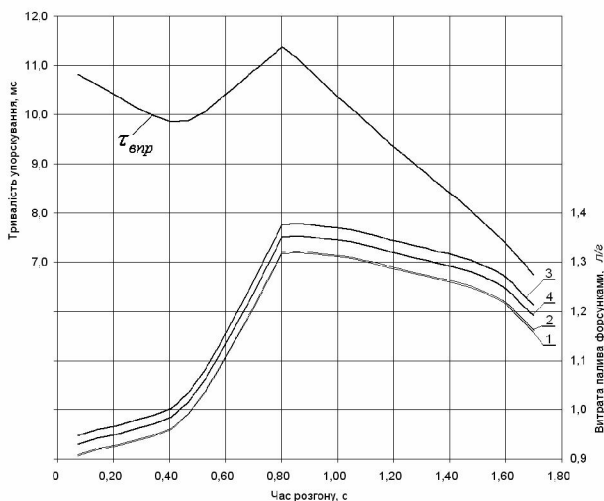


Рис. 2. Усереднена тривалість впорскування та витрата палива окремими форсунками при розгоні автомобіля

Певний інтерес викликає характер зміни тривалості впорскування, представленої на рисунку 2. При повільному натисканні на акселератор  $\tau_{впр}$  повільно зменшується, а витрата палива повільно зростає за рахунок підвищення частоти обертання колінчастого вала. Коли швидкість натискання на акселератор зростає, спрацьовує алгоритм «прискорювального насоса»,  $\tau_{впр}$  і витрата палива стрімко зростають. Це триває приблизно 0,35 с, після чого тривалість впорскування різко скорочується, а витрата палива зменшується повільніше, бо зростає частота обертання колінчастого вала.

#### Висновки

Запропонована методика визначення миттєвої витрати палива на несталіх режимах роботи авто-

мобільного двигуна з мікропроцесорним керуванням упорскуванням бензину ґрунтується на вимірюванні послідовності керуючих сигналів на форсунках з наступним обчисленням циклової подачі палива у кожний циліндр з урахуванням динамічних властивостей кожної форсунки. Вона розрахована на використання комп'ютерних технологій, не потребує встановлення додаткових датчиків, може застосовуватись при стендових та дорожніх випробуваннях автомобільних двигунів.

#### Список літератури:

1. Системы управления бензиновыми двигателями. Пер. с нем. Первое рус. изд. – М.: ООО «Книжное изд. «За рулем», 2005, - 432 с.
2. Автомобили ВАЗ-2108, ВАЗ-2109. Руководство по ремонту/ А.П. Игнатов, С.Н. Косарев, К.В. Новокшионов и др. Москва, «Третий Рим», 1998.- 170 с.
3. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю.И. Будыко, Ю.В. Духнин, В.Э. Коганер и др. – Л.: Машиностроение, 1982. – 144 с.
4. Пойда А. Н. Влияние различных факторов на цикловую подачу бензина и стабильность функционирования автомобильного двигателя / А. Н. Пойда, А. М. Проскурин, Д. Г. Сивых // Автомобильный транспорт. – 2008. – № 23. – С. 142 – 147.
5. Пойда А. Н. Коррекция неравномерности впрыскивания бензина в процессе эксплуатации автомобильных двигателей / А. Н. Пойда, А. М. Проскурин // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С. 141 – 148.

#### Bibliography (transliterated):

1. Sistemy upravlenija benzinovymi dvigateljami. Per. s nem. Pervoe rus. izd. – M.: ООО «Knizhnoe izd. «Za rulem», 2005, - 432 s.
2. Avtomobili VAZ-2108, VAZ-2109. Rukovodstvo po remontu/ A.P. Ignatov, S.N. Kosarev, K.V. Novokshonov i dr. Moskva, «Tretij Rim», 1998.- 170 s.
3. Apparatura vpryska legkogo topliva avtomobil'nyh dvigatelej / Ju.I. Budyko, Ju.V. Duhnin, V.E. Koganer i dr. – L.: Mashinostroenie, 1982. – 144 s.
4. Pojda A. N. Vlijanie razlichnyh faktorov na ciklovuju podachu benzina i stabil'nost' funkcionirovanija avtomobil'nogo dvigatelja / A. N. Pojda, A. M. Proskurin, D. G. Sivyh // Avtomobil'nyj transport. – 2008. – № 23. – S. 142 – 147.
5. Pojda A. N. Korrekcija neravnomernosti vpryskivaniya benzina v processe jekspluatacii avtomobil'nyh dvigatelej / A. N. Pojda, A. M. Proskurin // Dvigateli vnutrennego sgoranija. – 2008. – №1. – S. 141 – 148.

УДК 621.43.016.4

**В.В. Шпаковский, д-р техн. наук**

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗНОСА КОЛЬЦЕВЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ПОРШНЕЙ С КОРУНДОВЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ ДИЗЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА ЧМЭ-3

**Постановка проблемы и связь с научными и практическими задачами**

Повышение ресурса и долговечности тепловозов является одной из основных задач железнодоро-

рожного транспорта. В значительной степени ресурс тепловозов определяется ресурсом дизелей. Внедрение уникальных технологий, позволяющих увеличить ресурс деталей цилиндропоршневой

группы (ЦПГ) имеет первостепенное значение. Это даст возможность сократить затраты на ремонт и техническое обслуживание, снизить расходы на запчасти.

#### Анализ публикаций

Основной причиной снижения ресурса дизелей является износ гильз цилиндров и изменение их формы, износ цилиндрической части или задиры поршней, износ верхних поршневых колец, кольцевых перемычек. Для повышения износостойкости деталей ЦПГ улучшают систему смазки, добиваются ограничения отвода тепла от рабочего тела к деталям ЦПГ. Чтобы снизить максимальную температуру тела поршня применяют теплоизолирующие накладки на головки поршней, нирезистовые вставки на кольцевом поясе, создают оптимальную шероховатость трущихся поверхностей и т.д. [1], [2]. Однако проблема повышения износостойкости поршней и кольцевых перемычек до сих пор остаётся актуальной.

Высокие температурные нагрузки вызывают разупрочнение материала поршней, происходит ускоренный износ канавок под верхнее компрессионное кольцо.

Исследование температур поршня двигателя Д20 [3] показали, что за первые 50 часов работы двигателя твердость материала поршня из сплава АК-4 в зоне колец снижается на 29 ед. по Бринелю. Это приводит к повышенному износу опорной поверхности перемычки верхнего компрессионного кольца. Поэтому и стали применять нирезистовые вставки, накладки, покрытия. На дизеле Д70 применение накладок из стали 1Х18Н9Т с прокладкой из стали 40 снижает температуру над первым кольцом на 65°C [4]. Применение покрытий толщиной от 0,2-до 0,8 мм позволяет снизить температуру тела головки поршня на 20-50°C, а зоны над первым кольцом – на 10-25°C [2].

При покрытии алюминиевых поршней двигателя 1С 10,5/13 окисью алюминия  $Al_2O_3$  толщиной 0,3 мм температура в центре доньшка снизилась на 35 °С, а над первым поршневым кольцом – на 25 °С. Аналогичная картина наблюдается и при покрытии алюминиевого поршня окисью циркония  $ZrO_2$ . При толщине покрытия 0,3 мм снижение температуры возле первого поршневого кольца составляет 40 °С.

Применение эмалированного керамического покрытия толщиной 0,35 мм [3] позволило снизить температуру в зоне верхнего поршневого кольца на 8-14 °С, а на скоростных режимах – на 13-16 °С.

Установлено также, что с увеличением толщины теплоизолирующего покрытия от 0,2 мм до 0,8 мм и больше снижение температуры в зоне верхнего компрессионного кольца уменьшается.

Экспериментальные исследования работоспособности поршней с корундовым слоем проводились на серийном двигателе МеМЗ-245 на Мелитопольском моторном заводе. Работоспособность поршней оценивалась по детонационной стойкости кольцевых перемычек, по количеству полностью отработанных циклов до повышения давления картерных газов двигателя от 5 – 8 мм вод. ст. до 20 – 25 мм вод. ст. во время работы с детонацией на режиме выдержки. Испытания проводились с поршнями с корундовым поверхностным слоем толщиной до 200 мкм на днище поршня и на перемычках. Было установлено, что у поршней с корундовым слоем на днище и кольцевом поясе, температуры внутренней части доньшка, над верхним компрессионным кольцом и на перемычке между компрессионными кольцами ниже, чем температуры на серийном поршне на 12 – 20 °С. Результаты испытаний показали, что серийные поршни выдерживают 4 цикла работы с детонацией, а поршни с корундовым слоем на днище и кольцевом поясе – 9 циклов работы с детонацией, т.е. имеют в 2,25 раза более высокую прочность межкольцевых перемычек [6]. На основании этих исследований было предложено попытаться увеличить ресурс ЦПГ тепловозного дизеля.

Таким образом, многочисленными исследованиями доказано, что применение тонких теплоизолирующих покрытий на головке поршня и кольцевом поясе приводит к снижению температуры в зоне первого поршневого кольца, а значит и к снижению износа опорной поверхности канавки верхнего компрессионного кольца и повышению ресурса двигателя.

#### Способы решения проблемы

Для повышения износостойкости кольцевых перемычек можно применить модификацию поверхности из алюминиевого сплава с образованием керамического слоя. Образование керамического слоя на поверхности поршня позволит снизить коэффициент трения, температуру тела поршня, увеличить теплостойкость, твёрдость и износостойкость кольцевых перемычек [5].

На кафедре ДВС НТУ «ХПИ» для упрочнения кольцевых перемычек и теплоизоляции поршней применяется метод гальваноплазменной обработки

с преобразованием поверхности из алюминиевого сплава в корундовую.

**Цели и задачи исследований**

Целью исследований является изучение износостойкости кольцевых перемычек поршней с корундовым поверхностным слоем, установленных в дизель тепловоза ЧМЭ-3. Была поставлена задача: при проведении текущих ремонтов ТР-3 в период длительных эксплуатационных испытаний на основании микрометража поршней и кольцевых канавок установить влияние корундового слоя на работоспособность кольцевых перемычек.

**Обоснование научных и практических результатов**

На доньшках всех 6 поршней дизеля тепловоза ЧМЭ-3 был образован корундовый слой переменной толщины (до 0,5 мм). На поршнях второго и пятого цилиндров для повышения износостойкости кольцевых перемычек и колец дополнительно был образован корундовый слой толщиной 0,3 мм на кольцевом поясе. На поршнях первого и шестого цилиндров был образован корундовый слой и на кольцевом поясе, и на цилиндрической части юбки [7]. Это позволило оценить влияние корундового слоя, образованного только на доньшке поршня, на самих перемычках и дополнительное влияние корундового слоя на цилиндрической части поршня на износостойкость кольцевых перемычек. Результаты микрометража кольцевых канавок в период девятнадцатилетних испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Размеры верхних кольцевых канавок поршней с корундовым слоем в период 19-летней эксплуатации тепловоза ЧМЭ-3

Ширина канавки верхнего поршневого кольца, мм			
Поршень № 0237 (№1)			
20.02.93 T=10 <sup>0</sup> C	29.09.05 T=20 <sup>0</sup> C	25.12.08 T=4 <sup>0</sup> C	20.12.11 T=10 <sup>0</sup> C
6,01	6,25	6,25	6,45
Поршень №02862 (№2)			
6,02	6,34	6,34	6,4
Поршень №1033 (№3)			
6,0	6,36	6,36	6,45
Поршень №8010 (№4)			
6,02	6,42	6,45	6,45
Поршень №5994 (№5)			
6,01	6,34	6,34	6,45
Поршень №0287 (№6)			
6,0	6,3	6,3	6,45

На рис.1 показано, что после наработки 97680 моточасов наименьший размер имеют канавки на 1 и 6 поршне (1 группа), т. е. там, где корундовый слой с низким коэффициентом трения был на всех рабочих поверхностях. Наибольший размер имеют канавки на 3 и 4 поршнях (3 группа), где не было корундового слоя на перемычках (рис.2). Здесь и произошёл наибольший износ перемычек.

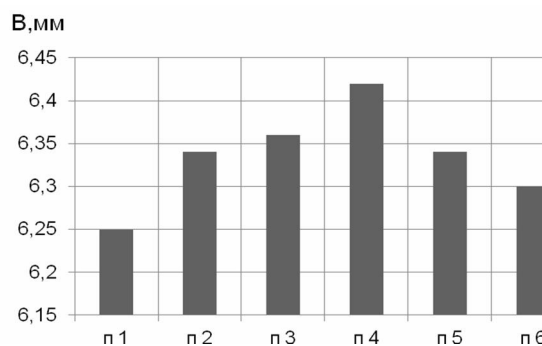


Рис. 1. Размеры верхних канавок поршневых колец после наработки 97680 моточасов

В период наработки до 97680 моточасов темп износа верхних кольцевых перемычек у поршней 1 и 6 цилиндров с корундовым поверхностным слоем был 20 и 24 мкм/год, у поршней 2 и 5 цилиндров по 27,2 мкм/год, у поршней 3 и 4 цилиндров без корундового слоя - 28,8 и 33,6 мкм/год, соответственно. За время эксплуатации до 114676 моточасов кольцевые перемычки изнашивались незначительно, только размер кольцевой канавки у четвёртого поршня увеличился на 30 мкм, до размера 6,45 мм.

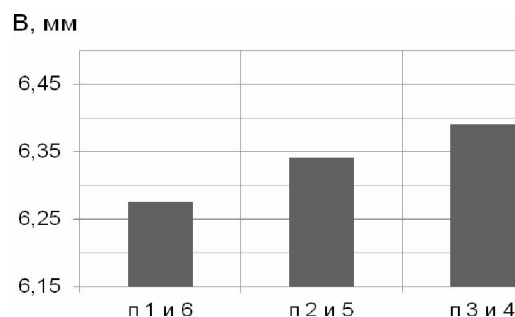


Рис. 2. Размеры верхних поршневых канавок по группам поршней после наработки 97680 моточасов

При дальнейшей эксплуатации до 125 тыс. моточасов кольцевые перемычки верхних компрессионных колец стали быстро изнашиваться. Размеры кольцевых канавок на всех поршнях достигли размеров 6,45 мм (рис. 3).

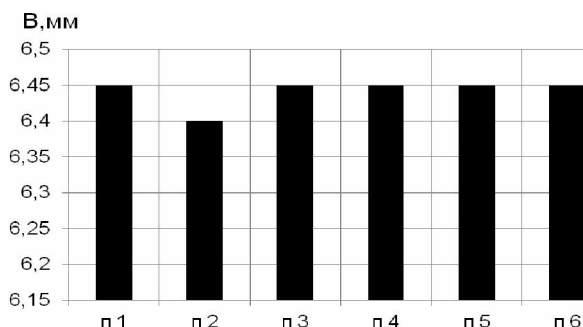


Рис. 3. Размеры верхних канавок поршневых колец после наработки 125 тыс. моточасов тепловозом ЧМЭ-3 с поршнями с корундовым слоем № 6830

Если проследить изменение размеров кольцевых канавок верхних поршневых колец в процессе эксплуатации (рис.4), то можно заметить, что после наработки 115 тыс. моточасов начался интенсивный износ кольцевых перемычек. Можно ожидать достижения предельных размеров кольцевых канавок уже при наработке 130 тыс. моточасов/

У дизеля тепловоза ЧМЭ-3 с серийными поршнями после значительно меньшей наработки (35-45 тыс. моточасов) происходит запредельный износ верхних кольцевых перемычек и ширина кольцевых канавок превышает допустимые размеры и достигает 7,5–8,2 мм [3].

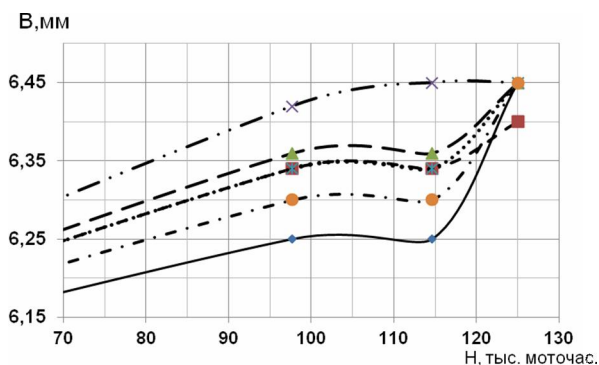


Рис. 4. Увеличение размеров кольцевых канавок верхних поршневых колец в процессе эксплуатации

—●— п1 —■— п2 —▲— п3 —×— п4 —\*— п5 —○— п6

### Выводы

1. Образование теплоизолирующего корундового слоя с низким коэффициентом трения на перемычках поршней позволило в процессе эксплуатации снизить темп износа кольцевых перемычек примерно в 1,5 раза.

2. Интенсивный износ кольцевых перемычек поршней с корундовым слоем начинается после

наработки 115 тыс. моточасов, когда в значительной мере изношен корундовый слой.

3. Ресурс верхних кольцевых перемычек поршней с корундовым слоем в 3 раза превысил ресурс верхних кольцевых перемычек серийных поршней.

### Список литературы:

1. Семёнов В.С. Теплонапряженность и долговечность цилиндрико-поршневой группы судовых дизелей / Семёнов В.С. - М.: Транспорт. 1977. - 182 с.
2. Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания / Костин А.К., Ларионов В.В., Михайлов Л.И. - Л.: Машиностроение, 1979. - 222 с.
3. Чепиль В.С. Исследование влияния термоизолирующего покрытия доньшка камеры сгорания в поршне на параметры рабочего процесса и тепловое состояние двигателя Д20 / В.С.Чепиль, Я.И. Гордиенко // Двигатели внутреннего сгорания. - 1970. - Вып. 10. - С. 46-52.
4. Щеголь А.Я. Влияние жаровой накладки на поршне на температурное состояние деталей двигателя / А.Я. Щеголь // Двигатели внутреннего сгорания. Вып.2 - С.41.
5. Шпаковский В.В. Проблемы повышения эффективности ДВС путём применения новых материалов для цилиндрико-поршневой группы и задачи научных исследований / В.В. Шпаковский // Механика та машинобудування. - 2008. №1 - С.193-197.
6. Шпаковский В.В. Применение поршней с корундовым слоем - способ повышения надёжности двигателей внутреннего сгорания / В.В. Шпаковский, В.А. Пылёв, В.В. Осейчук // Автомобильный транспорт. - 2007.- Вып.21.- С. 128-131.
7. Шпаковский В.В., Повышение ресурса цилиндрико-поршневой группы тепловозного дизеля образованием корундового слоя на поверхности поршней / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, С.А. Феоктистов, С.М. Маслий, И.В. Шпаковский, В.В.Осейчук // Международный информационный научно-технический журнал Локомотив информ. Харьков - 2007 - С. 28-30.
8. Шпаковский В.В. Результаты длительных ресурсных испытаний серийного дизеля тепловоза ЧМЭ-3 / В.В. Шпаковский // Вестник ХНАДУ. - 2009. - Вып.45. - С.75-78.
9. Износостойкость поршней с корундовым слоем и серийных поршней в условиях длительной эксплуатации дизелей маневровых тепловозов ЧМЭ-3 / В.В. Шпаковский // Автомобильный транспорт. - 2009.- Вып.24. - С. 128-131.

### Bibliography (transliterated):

1. Semjonov V.S. Teplonaprjazhennost' i dolgovechnost' cilindroporshnevoj grupy sudovyh dizelej / Semjonov V.S. - M.: Transport. 1977. - 182 s.
2. Kostin A.K., Larionov V.V., Mihajlov L.I. Teplonaprjazhennost' dvigatelej vnutrennego sgoranija / Kostin A.K., Larionov V.V., Mihajlov L.I. - L.: Mashinostroenie, 1979. - 222 s.
3. Chepil' V.S. Issledovanie vlijanija termoizolirujuwego pokrytija donyshka kamery sgoranija v porshne na parametry rabocheho processa i teplovoe sostojanie dvigatelja D20 / V.S.Chepil', Ja.I. Gordienko // Dvigateli vnutrennego sgoranija. - 1970. - Вып. 10. - С. 46-52.
4. Wego! A.Ja. Vlijanie zharovoj nakladki na porshne na temperaturnoe sostojanie detalj dvigatelja / A.Ja. Wego! // Dvigateli vnutrennego sgoranija. Vip.2 - S.41.
5. Shpakovskij V.V. Problemy povyshenija jeffektivnosti DVS putjom primenenija novyh materialov dlja cilindroporshnevoj grupy i zadachi nauchnyh issledovanij / V.V. Shpakovskij // Mehanika ta mashinobuduvannja. - 2008. №1 - S.193-197.
6. Shpakovskij V.V. Primenenie porshnej s korundovym sloem - sposob povyshenija nadjozhnosti dvigatelej vnutrennego sgoranija / V.V. Shpakovskij,

V.A. Pyljov, V.V. Osejchuk // *Avtomobil'nyj transport*. – 2007.- Vyp.21.- S. 128-131. 7. Shpakovskij V.V., *Povyshenie resursa cilindro-porshnevoj grupy teplovoznogo dizelja obrazovaniem korundovogo sloja na poverhnosti porshnej* / V.V. Shpakovskij, A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov, S.A. Feoktistov, S.M. Maslij, I.V. Shpakovskij, V.V.Osejchuk // *Mezhdunarodnyj informacionnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal Lokomotiv inform. Har'kov* – 2007 –

S. 28-30. 8. Shpakovskij V.V. *Rezul'taty dlitel'nyh resursnyh ispytanj serijnogo dizelja teplovoza ChMJe-3* / V.V. Shpakovskij // *Vestnik HNADU*. – 2009. – Vyp.45. – S.75-78. 9. *Iznosostojkost' porshnej s korundovym sloem i serijnyh porshnej v uslovijah dlitel'noj jekspluatacii dizelej manevrovnyh teplovoznov ChMJe-3* / V.V. Shpakovskij // *Avtomobil'nyj transport*. – 2009.- Vyp.24.- S. 128-131.

УДК 621.436

**А.В. Белогуб, д-р техн. наук, А.А. Зотов, канд. техн. наук, В.А. Байков, инж.**

## БЕЗОПАСНЫЕ ПОРШНИ К АВТОМОБИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЯМ ВАЗ-21126

### Введение

В настоящее время на вторичном рынке имеется несколько предложений поршней 21126-1004015 для ВАЗ «ПРИОРА» (Vh=1,6л). Это оригинальные (поставляемые на конвейер ВАЗ), поршни нашей разработки и «невтыковые» порш-

ни от «СТИ» (г. Тольятти). Ниже приведен анализ конструкции предлагаемых поршней.

На рис. 1 и 2 представлены фотографии этих поршней: а) – оригинальный ; б) – производства ПАО «АВТРАМАТ» и в) – производства СТИ, а в табл. 1 – их описание. В табл. 2 приведены параметры качества определяющих поверхностей.



а) б) в)

Рис.1. Вид на камеру сгорания поршней 21126-1004015



а) б) в)

Рис.2. Вид на юбку поршней 21126-1004015

Анализ конструктивных отличий (таблица 1) показывает, что оригинальный поршень и поршень

от ПАО «АВТРАМАТ» отличаются незначительно, хотя последний имеет некоторое преимущество по