

УДК 621.43.016

ТРИНЁВ А.В., к.т.н. доц., НТУ «ХПИ»
ОБОЗНЫЙ С.В., инж., НТУ «ХПИ»
КАЛАНТАЙ В.И., студ., НТУ «ХПИ»

ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА БЫСТРОХОДНОГО АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Проблеми підвищення паливної економічності, надійності та довговічності пропонується вирішувати за рахунок узгодження теплового стану деталей камери згоряння (КЗ), зокрема гільзи циліндра, з тепловими процесами двигуна та використання локального охолодження гільзи.

Введение. Значительное влияние на работоспособность деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) оказывает гильза цилиндра, ограничивающая рабочий объем цилиндра с поршнем и головкой цилиндров. От работы пары гильза – поршневые кольца во многом зависит износ втулки. На характер изнашивания втулки, скорость изнашивания влияют многие факторы. Среди них можно выделить главные: температуру зеркала втулки в сочетании с применяемым моторным маслом, степень деформации втулки по её окружности в зависимости от нагрева.

Удовлетворительные характеристики изнашивания гильз цилиндров достигаются за счет наличия стабильной масляной пленки между гильзой цилиндров и поршневыми кольцами. С ростом уровня форсирования автотракторных дизелей повышаются температуры зеркала гильзы и удельное давление поршневых колец. Поэтому необходимо уделять особое внимание сохранению на зеркале устойчивой масляной плёнки, поддержанию вязкости моторного масла в оптимальных пределах. В известных конструкциях малооборотных и среднеоборотных дизелей поставленная проблема является малоизученной, интенсификация охлаждения опорного бурта гильз таких ДВС с использованием жидкого охладителя представляет собой практически неразрешимую конструктивную задачу, что связано со сравнительно малыми размерами гильз, плотным размещением гильз в блоке, чем достигаются высокие массогабаритные показатели современных автотракторных ДВС. Решением поставленной проблемы, на наш взгляд, может стать локальное охлаждение опорного бурта сжатым воздухом.

Анализ последних достижений и публикаций. Как показали проведенные ранее теоретические и экспериментальные исследования, за счет поддержания определенного температурного состояния гильзы по её высоте, что в свою очередь влияет на вязкость моторного масла и потери на трение в сопряжении кольца - гильза, можно снизить механические потери по дизелю, улучшить также индикаторные показатели за счет уменьшения теплоотвода в систему охлаждения через стенку гильзы. Результаты таких исследований, например, можно найти в работах проф. Третьяка Е.И. [1-3], проведенных на одноцилиндровом отсеке судового дизеля 6ЧН26/34 на кафедре ДВС ХПИ. Ставилась задача нахождения оптимальных конструктивных соотношений для охлаждаемой гильзы цилиндра. Расчётным путём была минимизирована высота охлаждаемого пояса гильзы при ограничении температуры в зоне первого компрессионного кольца при положении поршня в ВМТ значением 160°C. Как отмечалось в работе [1], такое ограничение по температуре обусловлено требованиями работоспособности, надежности и долговечности гильзы.

Была рассчитана минимальная высота охлаждаемого пояса, которая составила 0,18S(60 мм), был предложен конструктивный вариант узла цилиндра с укороченным охлаждаемым поясом, проведен эксперимент для проверки его работоспособности. В эксперименте были определены: абсолютные значения температур в характерных точках гильзы; профиль температур по образующей гильзы; плотность тепловых потоков вдоль образующей. Эксперимент подтвердил работоспособность опытного узла гильзы, улучшение индикаторного и механического КПД, что выразилось в целом в уменьшении удельного эффективного расхода топлива на 1,8 – 4,2 г/(кВт·час)[1].

В работе [2] были обоснованы возможные пути оптимизации и выравнивания температуры гильзы по высоте, а именно: подогрев нижнего пояса гильзы цилиндров выпускными газами или воздухом после компрессора, введение высокотемпературного охлаждения, уменьшение поверхности охлаждения по высоте гильз, интенсификация охлаждения опорного бурта для снижения температуры в этой зоне от 200-220°С до рациональных 160°С.

В работе [3] были проанализированы конструктивные мероприятия, снижающие тепловые потери в охлаждающую жидкость: органосиликатные покрытия теплопередающих поверхностей, теплозащита тепловоспринимающих поверхностей с помощью керамических материалов, локальное охлаждение, использование тепловой защиты нижнего (переохлажденного) пояса в виде воздушной кольцевой прослойки толщиной 1,5-2мм. Таким образом, проведенные исследования доказали возможность выравнивания температуры гильзы по её высоте до рациональных значений, при которых вязкость моторного масла становится оптимальной, снижаются механические потери и уменьшаются потери теплоты в систему охлаждения.

Детальный анализ теплонапряженного состояния (ТНС) гильзы цилиндра быстроходного автотракторного дизеля 4ЧН12/14 приведен в работе [4]. Для исследования ТНС была разработана на основе МКЭ нестационарная математическая модель гильзы цилиндров, для уточнения граничных условий задач теплопроводности и механики проведен моторный эксперимент, включающий термометрию гильзы(16 термопар) и оценку деформированного состояния (16 тензодатчиков). Моторный эксперимент показал существенную неравномерность температур по высоте гильзы от 230-250°С в зоне опорного бурта до 100-115°С в охлаждаемой зоне. При этом максимальные температурные деформации изменялись от 0,058мм в верхней части до 0,017мм в нижней части гильзы, что необходимо учитывать при выборе рабочих зазоров между поршнем и гильзой [4].

Цель и постановка задачи. Целью исследования является улучшение технико-экономических показателей форсированных быстроходных дизелей автотракторного типа за счет получения оптимального температурного профиля по высоте гильзы, снижения механических и тепловых потерь.

Для достижения поставленной цели на начальном этапе предполагалось решить следующие задачи:

- оценить возможности локального воздушного охлаждения опорного бурта гильзы автотракторного дизеля с точки зрения его эффективности и энергетических затрат;
- разработать конструкцию безмоторного стенда для исследования условий локального охлаждения гильзы;
- уточнить граничные условия (ГУ) задачи теплопроводности для математической модели ТНС гильзы цилиндров с локальным охлаждением опорного бурта;

- исследовать характер протекания переходных процессов от момента подачи охладителя – воздуха до момента стабилизации теплового состояния гильзы, оценить влияние на протекание процессов режимных факторов (давление, температура охладителя).

Исследование условий локального воздушного охлаждения гильзы цилиндра в безмоторном эксперименте. На кафедре ДВС НТУ «ХПИ» накоплен значительный опыт в проведении безмоторных экспериментов для исследования ТНС деталей ДВС [5-7], безмоторные стенды также успешно используются при решении практических задач ведущими зарубежными мотостроительными компаниями, например, такими как Caterpillar [6].

Исследуется температурное поле гильзы цилиндров дизеля 4ЧН12/14 с локальным воздушным охлаждением верхнего опорного бурта. Для образования полости охлаждения на верхнем посадочном поясе после его дообработки напрессован чугунный бандаж с внутренней проточкой и подводным штуцером. Общий вид гильзы с охлаждаемым опорным буртом представлен на рис. 1. Гильза оснащена пятью хромель-алюмелевыми термопарами, равномерно размещенными по её высоте.

Моделирование теплового состояния гильзы с локальным охлаждением опорного бурта проводится на стенде, схема которого показана на рис.2. Стенд содержит опытную гильзу 1 с термопарами 2, плавильную электропечь 3 открытого типа, трансформатор 4 с регулируемым напряжением на выходе от 0 до 250 В, переключатель 5, цифровой прибор 6 для регистрации температур в контрольных точках гильзы, расходомер охлаждающего воздуха 7. Цифровой прибор 8 типа А566 используется для контроля температур охлаждающего воздуха на входе в гильзу и на выходе из нее по сигналу от термометра сопротивления. Давление охлаждающего воздуха непосредственно на входе в гильзу контролируется пружинным манометром 9.



Рисунок 1 - Гильза цилиндра с охлаждаемым буртом

Поршневой компрессор с электроприводом создает и поддерживает в ходе эксперимента заданное давление в ресивере 11.

Гильза цилиндров своим опорным буртом установлена на плавильную печь, между печью и гильзой уложена асбестовая прокладка. Путём регулирования напряжения трансформатора 4 подбирается режим нагрева, при котором достигается и поддерживается необходимая температура нагрева опорного бурта гильзы, соответствующая номинальному режиму работы дизеля (250 - 260°С) 4ЧН12/14, используются результаты термометрии гильз в моторных экспериментах. После этого включается подача охлаждающего воздуха и выполняются замеры. Такой безмоторный стенд и такая методика успешно использовалась ранее при моделировании теплового состояния головки цилиндров дизеля СМД [6] и

дизеля КаМАЗ [7]. При этом в последующих моторных экспериментах были в основном подтверждены результаты безмоторных.

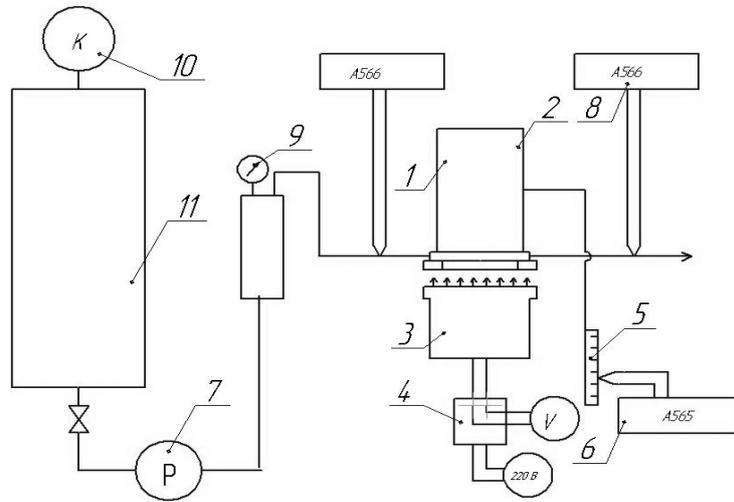


Рисунок 2 - Схема безмоторного стенда

Программа безмоторного эксперимента предполагала определение температурных полей гильзы без подачи охладителя и с его подачей при избыточном давлении $P_v=0,1$ МПа и $P_v=0,2$ МПа. На режимах с подачей воздуха оценивался также характер изменения температур во время переходного процесса. Распределение температур $t^{\circ}\text{C}$ (профиль) по высоте охлаждаемой гильзы l в безмоторном эксперименте представлено на рис. 3 (а, б, в). Для сравнения приведен так же профиль температур, полученный в моторном эксперименте [4] с жидкостным охлаждением наружной поверхности гильзы для номинального режима ($n=1800$ мин $^{-1}$, $p_c=0,73$ МПа) работы дизеля 4ЧН12/14 (рис. 3-г). Температуры в моторном и безмоторном экспериментах определялись на рабочей поверхности гильзы(зеркале).

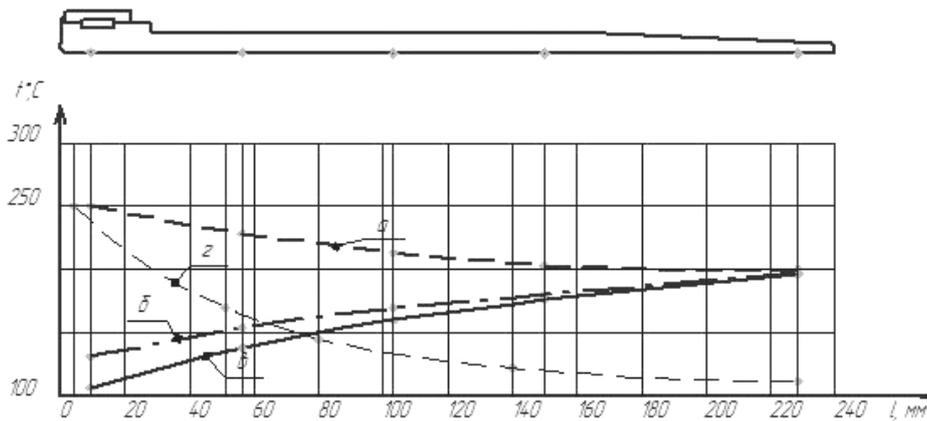


Рисунок 3 – Распределение температур зеркала гильзы, $^{\circ}\text{C}$ по высоте l , мм:

- а – без подвода охладителя;
- б – давление воздуха $P_v=0,1$ МПа;
- в – давление воздуха $P_v=0,2$ МПа;
- г – моторный эксперимент, серийная гильза.

Параметры охлаждающего воздуха на режиме с $P_v=0,1$ МПа составили: расход воздуха $G_v=6,0$ м³/час; температура воздуха на входе в гильзу $t_{в1}=18^\circ\text{C}$; температура воздуха на выходе из гильзы $t_{в2}=75^\circ\text{C}$. Для режима с $P_v=0,2$ МПа: $G_v=6,9$ м³/час; $t_{в1}=18,5^\circ\text{C}$; $t_{в2}=65^\circ\text{C}$.

По результатам безмоторного эксперимента были построены динамические температурные характеристики в зависимости от продолжительности охлаждения t , мин. в переходных процессах, представленные на рис.4. Приведены характеристики для контрольных точек 1-3.

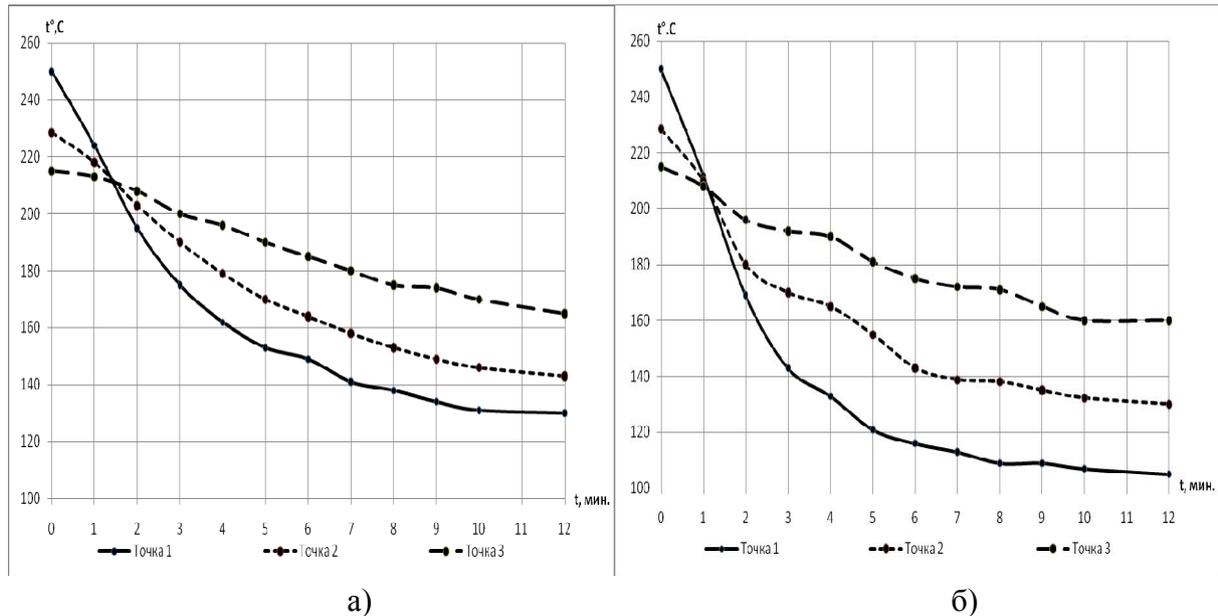


Рисунок 4 – Динамика изменения температуры в контрольных точках гильзы при подводе охладителя: а) $P_v=0,1$ МПа; б) $P_v=0,2$ МПа

Для уточнения ГУ задачи теплопроводности для охлаждаемых воздухом поверхностей опорного бурта гильзы была разработана МКЭ-модель гильзы, в расчетах воспроизводились условия нагрева гильзы в безмоторном эксперименте. По результатам безмоторного эксперимента и путем решения серии тестовых задач были уточнены ГУ 3-го рода для указанных поверхностей. Так значение коэффициента теплоотдачи составило для рассмотренных режимов $\alpha=500-700$ Вт/(м²К) при результирующих температурах $t_{рез}=40\dots70^\circ\text{C}$.

Проводилась оценка возможных дополнительных энергетических затрат по двигателю в пересчете на $z=4$ цилиндра. Для варианта применения в качестве источника сжатого воздуха приводного поршневого компрессора, который используется в тормозных системах автотракторных ДВС, затраты могут составить от 0,425 до 1,6 кВт.

Выводы

В результате проведенного расчетно-экспериментального исследования можно отметить:

- эксперимент показал высокую эффективность локального воздушного охлаждения зоны опорного бурта гильзы цилиндров автотракторного дизеля с учетом необходимых энергетических затрат, снижение температуры наиболее нагретой части гильзы составило 100-120°C, что позволяет изменять в дальнейшем температуру этого участка в широких пределах для получения оптимальной температуры стенки гильзы и оптимальной вязкости моторного масла по её длине;
- получены уточненные ГУ задачи теплопроводности для локального охлаждения гильзы цилиндров, что позволяет разработать уточненную математическую модель ТНС гильзы, а также решить оптимизационную задачу, используя факторы как интенсификации, так и ограничения теплоотвода по высоте гильзы, обеспечить наиболее рациональный температурный профиль для снижения механических и тепловых потерь;
- разработанный безмоторный стенд позволяет достаточно точно исследовать влияние различных факторов (охлаждение, теплоизоляция) на тепловое состояние гильзы, разработать практические рекомендации по улучшению экономических и ресурсных показателей форсированных автотракторных ДВС.

Список литературы: 1. Экспериментальное исследование эффективности ограниченного теплоотвода гильз цилиндра дизеля 6ЧН26/34 / *Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало, А.А. Науменко, А.Г. Соколов* // Двигатели внутреннего сгорания. 1989. Вып. 52 с.78-85. 2. Определение пределов регулирования теплового состояния гильзы цилиндров судового дизеля 6ЧН26/34 при ограниченном теплоотводе / *Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало, К.Н. Васильев и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 1989. Вып. 49 с.28-30. 3. Оценка возможности улучшения топливной экономичности судового дизеля 6ЧН26/34 при тепловой защите гильзы цилиндра / *Е.И. Третьяк, Б.Л. Гоцкало, О.С. Кинжалов и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 1987. Вып. 45 с.33-39. 4. Тепловое и напряженно-деформированное состояние гильзы цилиндра быстроходного дизеля при нестационарных нагрузках / *А.Ф. Шеховцов, П.П. Гонтаровский, Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров* // Двигатели внутреннего сгорания. 1993. Вып. 54 с.9-22. 5. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности / *Ф.И. Абрамчук, А.П. Марченко, Н.Ф. Разлейцев и др. под общ. ред. А.Ф. Шеховцова* // -К.: Техніка, 1992. – 272с. 6. Исследование условий локального воздушного охлаждения огневого днища головки цилиндров и использованием безмоторного стенда / *А.В. Тринёв, А.Н. Авраменко, С.В. Обозный и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 2007. №1 с.31-38. 7. Оценка эффективности локального охлаждения головки цилиндров дизеля КаМАЗ в безмоторном эксперименте / *А.В. Тринёв, В.Т. Коваленко, С.В. Обозный и др.* // Двигатели внутреннего сгорания. 2011. №2 с.19-24